

TASARLANAN HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİNİN
MEVCUT ÜRETİM SİSTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI:
FORD OTOSAN FABRİKASI ŞANZUMAN ÜRETİM BÖLÜMÜ İÇİN
BİR UYGULAMA

Öznur ÖZTÜRK

DOKTORA TEZİ

İşletme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Mart 2007

DOKTORA TEZ ÖZÜ**TASARLANAN HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİNİN MEVCUT ÜRETİM SİSTEMİ
İLE KARŞILAŞTIRILMASI: FORD OTOSAN FABRİKASI
ŞANZUMAN ÜRETİM BÖLÜMÜ İÇİN BİR UYGULAMA****Öznur ÖZTÜRK****İşletme Anabilim Dalı****Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Şubat 2007****Danışman: Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN**

Artan rekabet ortamında işletmeler düşük birim maliyete ve yüksek kaliteye sahip ürünler üreterek rekabette avantaj elde etmeye çalışmaktadırlar. Üretim işletmeleri içsel mekanizmalarını geliştirerek ve sahip oldukları ekipmanları yeniden düzenleyerek sözü edilen rekabet avantajını yakalayabilirler.

Makinelerin fonksiyonlarına göre bir arada bulunduğu başka bir deyişle işlevsel yerleşimin kullanıldığı işletmelerde parçalar çeşitli işlemler için bir bölümden diğerine taşınmaktadırlar. Bu şekilde düzenlenen yerleşimde zamanın büyük bir kısmı bekleme, taşınma ve makine ayarlama için kullanılmaktadır. Grup teknolojisi anlayışı, bu anlayışın üretimde uygulanması olan hücresel üretim endüstride yapılan uygulamalardan görüldüğü üzere üretimde verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Hücresel üretimin amacı, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmak başka bir ifade ile daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edebilmektir. Bu çalışma, şanzuman parçaları üretimi yapan ve süreç yerleşimine sahip Ford Otosan Fabrikası Şanzuman Bölümü için hücresel üretim sistemini kurarak bu sistemin işletmeye sağladığı avantajların neler olduğunu belirlemiştir. Bu avantajların sağlanması için işletmenin yapması gereken ödevler konusunda da önerilerimiz ortaya konmuştur.

ABSTRACT

Companies try to gain advantage in competition by manufacturing products that have low unit cost and high quality, in heightened competition environment. Manufacturing companies can take the advantage of competition by developing their internal mechanism and rearranging their equipments.

Parts are transported from one department to another for different operations in companies in which machines are gathered into groups according to their functions. In these companies, most of time is spent for waiting, transportation and setup. It's seen from the applications in industry that the idea of group technology is used for the purpose of increasing the productivity. Cellular manufacturing is an application of group technology principles to production. The objective of cellular manufacturing is to achieve efficiencies in production in other words to gain more outputs with less time, less cost and better quality by exploiting similarities amongst the parts. This study determines the advantages of cellular manufacturing system for Ford Otosan Factory Transmission Department that produces transmission parts and has process layout, by constructing this system in there. The proposals subject to the duties of the things that the company must do to provide these advantages are given.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Öznur ÖZTÜRK'ün "Tasarlanan Hücresel Üretim Sisteminin Mevcut Üretim Sistemi İle Karşılaştırılması: Ford Otosan Fabrikası Şanzuman Üretim Bölümü İçin Bir Uygulama" başlıklı tezi **23 Mart 2007** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, **İşletme (Sayısal Yöntemler)** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr.Ahmet ÖZMEN
 Üye : Prof.Dr.Emel ŞIKLAR
 Üye : Doç.Dr.Can Cengiz ÇELİKOĞLU
 Üye : Doç.Dr.Zeki ÇAKMAK
 Üye : Yard.Doç.Dr.Mahmut ATLAS

İmza

.....

Prof.Dr.Nurhan AYDIN
 Anadolu Üniversitesi
 Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında bana yol gösteren, eleştirileriyle katkıda bulunan, benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın uygulamaları için gerekli izni veren, ortam hazırlayan büyük bir hüsnü kabul gördüğüm Ford Otosan İnönü Fabrikası yönetimine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmamın başından sonuna her zaman ve her yerde karşılaştığım çalışma zorluklarını aşmada bana sabır ve özveri ile destek olan ailemin değerli bireylerine şükran borçluyum.

Öznur ÖZTÜRK

ÖZGEÇMİŞ

Öznur ÖZTÜRK

İşletme Anabilim Dalı
Doktora

Eğitim

Y.Ls.	2000	Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Ls.	1994	Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Lise	1990	Samsun Ondokuzmayıs Lisesi, Matematik Bölümü

İş

1996 -	Araştırma Görevlisi. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi
--------	---

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı : 28 Ekim 1973
Cinsiyet : Bayan
Yabancı dil : İngilizce

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ABSTRACT	iii
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZGEÇMİŞ	vi
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ

1. ÜRETİM VE ÜRETİM SİSTEMİ KAVRAMLARI	3
1.1. Üretim Kavramının Tanımı	3
1.2. Üretim Miktarı Kavramının Tanımı	4
1.3. Üretim Sistemi Kavramının Tanımı	5
2. ÜRETİM SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	6
2.1. Atölye Tipi Üretim Sistemi	6
2.2. Parti Tipi Üretim Sistemi	8
2.3. Kitle Üretim Sistemi	9
2.4. Yalın Üretim Sistemi	11
2.5. Esnek Üretim Sistemi	11
2.6. Grup Teknolojisi ve Hücresel Üretim Sistemi	13

3. GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ	13
3.1. Grup Teknolojisi ve Hücresel Üretim Sistemi İle İlgili Kavramsal Açıklama	13
3.2. Hücresel Üretim Sistemi'nin Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması	15
3.2.1. Hücresel Üretim Sistemi'nin Üstün Yönleri	15
3.2.2. Hücresel Üretim Sistemi'nin Zayıf Yönleri	16
3.2.3. Hücresel Üretim Sistemi Uygulamaları	17

İKİNCİ BÖLÜM

HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ'NİN KURULMASI

1. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ'Nİ KURMANIN AŞAMALARI	21
1.1. Parça Makine Matrisinin Oluşturulması	21
1.1.1. Oluşturulacak Matristeki Boşların ve Dışta Kalan Parçaların Etkileri – Kontrol ve Koordinasyon Etkisi	24
1.1.2. Oluşturulacak Matristeki Boşların ve Dışta Kalan Parçaların Etkileri – Hücre İçinde ve Hücreler Arasında Malzeme Taşıma Etkisi	26
1.2. Hücre Oluşturma ve Hücre Oluşturma Yönteminin Seçimi	27
1.2.1. Hücre Oluşturma	27
1.2.2. Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Tanıtılması	28
1.2.2.1. Tanımlayıcı Yöntemler	28
1.2.2.2. Kümeleme Analizini Temel Alan Yöntemler	29
1.2.2.3. Matematiksel Programlama Yöntemleri	30
1.2.2.4. Grafik Bölümleme Yöntemleri	30
1.2.2.5. Yeni Geliştirilen Diğer Yöntemler	30

1.2.3. Hücre Oluşturmada Kullanılacak Yöntemi Seçilmesi	31
1.2.4. Çözümleme Yönteminin Belirlenmesi – Tavlama Benzetimi Yöntemi	34
1.2.4.1. Tavlama Benzetimi Yöntemi'nin Tanıtılması	34
1.2.4.2. Tavlama Benzetimi Yöntemi'nin Algoritması	39
1.2.4.3. Tavlama Benzetimi Algoritması İçin Parametre Değerlerinin Belirlenmesi	44
1.2.4.3.1. Başlangıç Sıcaklığının Seçimi	44
1.2.4.3.2. Azaltma Faktörünün Seçimi.....	45
1.2.4.3.3. Her Sıcaklık Derecesinde Gerçekleştirilecek İterasyon Sayısının Belirlenmesi	45
1.2.4.3.4. Durma Koşullarının Belirlenmesi	45
1.3. Oluşturulacak Hücre Üretim Sistemi'nin Değerlendirilmesi	46
1.3.1. Benzetim Yöntemi'nin Tanıtılması	49
1.3.2. Benzetim Yöntemi'nin Üstünlük ve Sakıncaları	51
1.3.3. Benzetim Yöntemi'nde Model Türleri	52
1.3.4. Benzetim Yöntemi'nde Verilerin Analizi	53
1.3.4.1. Girdi Verilerinin Analizi	53
1.3.4.2. Benzetim Modellerinin Gerçeklenmesi ve Doğrulanması	54
1.3.4.3. Benzetim Yöntemi'nde Çıktı Analizi	55
1.3.4.3.1. İki Sistem Tasarımının Karşılaştırılması ..	55
1.3.4.3.2. İki'den Fazla Sistem Tasarımının Karşılaştırılması	59

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

FORD OTOSAN FABRİKASI'NIN ŞANZUMAN ÜRETİM BÖLÜMÜ İÇİN HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI VE MEVCUT ÜRETİM SİSTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

1. MEVCUT ÜRETİM SİSTEMİ'NİN TANITILMASI	60
1.1. Genel Olarak Fabrika'nın Tanıtılması	60
1.2. Şanzuman Üretim Bölümü'nün Tanıtılması	62
2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	67
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	68
3.1. Araştırma Modeli	68
3.2. Evren ve Örneklem	68
3.3. Veriler ve Toplanması	68
3.4. Şanzuman Bölümü Üretim Sistemi'nin Benzetim Modelinin Kurulması	69
3.4.1. Girdi Verilerinin Toplanması	69
3.4.2. Modelin Varsayımları	70
3.4.3. Modelin Çalıştırım Parametrelerini Belirleme	71
3.4.4. Modelin Gerçeklenmesi	73
3.4.5. Modelin Doğrulanması	73
3.5. Önerilecek Hücresel Üretim Sistemi'nin Oluşturulması	76
3.6. Önerilecek Hücresel Üretim Sistemi'nin Benzetim Modelinin Kurulması	90
3.6.1. Modelin Varsayımları	90
3.6.2. Modelin Gerçeklenmesi	90
3.7. Mevcut Üretim Sistemi ve Önerilecek Hücresel Üretim Sistemi'nin Karşılaştırılması	91

4. VERİLERİN ANALİZİ VE YORUMU	92
SONUÇ VE ÖNERİLER	100
EKLER	102
KAYNAKÇA	124

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Yerleşim Türleri ile Üretim Sistemi Karakteristiklerinin Karşılaştırılması	10
Tablo 2: İşletmelerin Hücresel Üretim Sistemini Oluşturma Nedenleri.....	18
Tablo 3: Bir Parça Makine Matrisinin Bölümlenmesi	22
Tablo 4: Alternatif Üretim Rotası ile Bölümlemedeki Gelişme	23
Tablo 5: Makine 2'den 2 Adet Olduğunda Bölümlemedeki Gelişme	24
Tablo 6: Tavlama Süreci ve Optimizasyon Problemi Arasındaki Karşılaştırma	35
Tablo 7: Metropolis Algoritması	36
Tablo 8: Tavlama Benzetimi Algoritması	38
Tablo 9: Tavlama Benzetimini Uygulamada Gerçekleştirilecek Olan Seçenekler	44
Tablo 10: İki Sistem İçin Benzetim Çıktı Verileri ve İstatistikler	56
Tablo 11: Bağımsız İki Örneklem Ortalamasının Karşılaştırılması İle İlgili Bilgiler	57
Tablo 12: Eşleştirilmiş Örneklem Ortalamalarının Karşılaştırılması İle İlgili Bilgiler	58
Tablo 13: Ford Otosan Eskişehir İnönü Fabrikası'nda Çalışan İşgörenlerin Bölümlere Göre Dağılımı.....	61
Tablo 14: Şanzuman Ünitesini Oluşturan Parçaların Resimleri	62
Tablo 15: Bir Şanzuman Ünitesini Oluşturan Parçalar ve Adetleri	63
Tablo 16: Yıllara Göre Şanzuman Üretim Miktarları	63
Tablo 17: Parçalara Ait Üretim Rota Sayıları	64
Tablo 18: Şanzuman Bölümü'nde Yer Alan Makineler	66
Tablo 19: Kavrama 2 Parçası İçin İşlem Sırası ve İşlem Süreleri	67
Tablo 20: Parçalar Arası Geliş Süresine Uyan Olasılık Dağılımları	70
Tablo 21: Kurulan Benzetim Modeli İçin Üretim Miktarı (11 Aylık), Ortalama ve Standart Sapma Değerleri	74
Tablo 22: Mevcut Üretim Sistemi İçin 1996-2005 Yılları Ocak Ayı Dışındaki Üretim Miktarı Ortalamaları ve Standart Sapma Değerleri	75

Tablo 23: %95 Güven Düzeyinde Oluşan Güven Aralığı Değerleri	76
Tablo 24: Tavlama Benzetimi Algoritmasının Parametre Değerleri	81
Tablo 25: Hücrelerde Yer Alan Parçalar, Üretim Rotaları ve EM Numaralarına Göre Makine Grupları	82
Tablo 26: Boşta Kalan Makinelerin Hücrelere Atanması	83
Tablo 27: Dışta Kalan Parçaların Gittikleri Hücreler	83
Tablo 28: Mevcut ve Önerilecek Yerleşime Göre Minimum ve Maksimum Taşıma Mesafeleri	86
Tablo 29: Ortalama Transfer Süresi İçin t Testi Sonuçları	93
Tablo 30: Ortalama Bekleme Süresi İçin t Testi Sonuçları	95
Tablo 31: Üretim Miktarı İçin t Testi Sonuçları	97
Tablo 32: Ortalama Üretim Süresi İçin t Testi Sonuçları	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Üretim Sistemi	3
Şekil 2: Bir Üretim Sisteminde Ürün Çeşitliliği ve Üretim Miktarı Arasındaki İlişki	4
Şekil 3: Üretim Sistemi Bileşenleri	5
Şekil 4: Fabrika Yerleşim Türleri	7
Şekil 5: Farklı Düzeyde Üretim Miktarı ve Ürün Çeşitliliği İçin Yerleşim Tipleri ve Üretim Sistemleri	10
Şekil 6: Çapraz Bloklanmış Matris	25
Şekil 7: Malzeme Taşımada Boşların ve Dışta Kalan Parçaların Etkisi ...	27
Şekil 8: Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Sınıflaması	28
Şekil 9: Tavlama Benzetim Algoritması	37
Şekil 10: Sistemler Üzerindeki Farklı Çalışma Yolları	47
Şekil 11: Bir Benzetim Çalışmasının Adımları	50
Şekil 12: Model Oluşturma, Gerçekleme ve Doğrulama	55
Şekil 13: Mevcut Üretim Sistemi Yerleşim Planı	65
Şekil 14: Farklı Büyüklük Faktörü Değerlerinin AFD ve CPU Değerlerine Olan Etkisi	80
Şekil 15: Önerilecek Yerleşim Planı	85
Şekil 16: Kavrama 2 Parçasının Mevcut Üretim Sistemi'nde İzleyeceği Üretim Rotaları (İlk 3 Üretim Rotası Gösterilmiştir)	88
Şekil 17: Kavrama 2 Parçasının Hücresel Üretim Sistemi'nde İzleyeceği Üretim Rotaları	89

GİRİŞ

Bir üretim işletmesinin uzun dönem amaçları, pazardaki yerini önce korumak, sonra geliştirmek ve marka olmaktır. 1970'lerde rekabet avantajı sağlamak için ana kriter ürünlerin maliyetiydi. 1980'lerde kalite, maliyetin yerini aldı ve rekabetin önemli bir boyutu haline geldi. Şimdilerde ise düşük birim maliyet ve yüksek kaliteli ürünler üretim işletmeleri için rekabet avantajı olarak tanımlanmaktadır. Bu avantajın sağlanmasında üretim işletmeleri için içsel mekanizmalarının geliştirilmesi ve sahip oldukları ekipmanların yeniden düzenlenmesinin önemi büyüktür.

Bir işletmede üretimi gerçekleştirilen parçalar birbirinden farklı ise işletmenin standart bir makine yerleşimine göre düzenlenmesi uygun olmaktadır. İşlevsel (süreç) yerleşimde parçalar çeşitli işlemler için bir bölümden diğerine taşınmaktadırlar. Bu şekilde düzenlenen yerleşimde parçalar, zamanının büyük bir kısmını işlemler öncesinde ve sonrasında beklemeye, bölümler arasında taşınmaya ve makine ayarlamaya harcamaktadır. Bekleme, gidip gelme ve ayarlama kaybedilen zaman üretim tedarik zamanını artırmakta bunun sonucunda da düşük verimlilik oluşmaktadır.

Grup teknolojisi anlayışı, bu anlayışın üretimde uygulanması olan hücresel üretim endüstride yapılan uygulamalardan görüldüğü üzere üretimde verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Grup teknolojisinde hücresel üretim düzenlemesi özellikle Amerika'da üretime uygulanan bir düzenleme biçimidir. İlk kez Mitrofansu ve A. P. Sokolovski tarafından 1940'lı yılların sonlarında Sovyetler Birliği'nde tanımlanmış ve ilk araştırmalar F. E. Flanders tarafından üretim ve kontrol sorunlarını gidermek için başlatılmıştır. Hücresel üretimin amacı, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmak başka bir ifade ile daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edebilmektir. Bu çalışma, şanzuman parçaları üretimi yapan ve süreç yerleşimine sahip Ford Otosan Fabrikası Şanzuman

Bölümü için hücresel üretim sistemini kurarak bu sistemin işletmeye sağladığı avantajların neler olduğunu belirlemiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde üretim ve üretim sistemlerinin tanıtımı yapılarak, hücresel üretim sistemi üstün ve zayıf yönleri ile açıklanmaya çalışılmıştır. İkinci bölümde hücresel üretim sistemini oluşturmanın adımları üzerinde durulmuştur. Çalışmanın son bölümü olan üçüncü bölümde ise, Ford Otosan İnönü Fabrikası'nın Şanzuman Bölümü'nde hücresel üretim sistemi oluşturulmuş ve mevcut üretim sistemi ile karşılaştırması yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle, Arena 9.0 yazılımında şanzuman bölümünün üretim sistemini temsil eden benzetim modeli kurulmuştur. Bu işlemin ardından parça makine matrisi oluşturularak tavlama benzetimi yöntemi ile hücresel üretim sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan hücresel üretim sisteminin de Arena 9.0 yazılımında benzetim modeli kurulmuş ve gerekli çalıştırmalar yapılarak iki sistem karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda şanzuman ünitesini oluşturan tüm parçalar için hücresel üretim sisteminde daha düşük bir transfer süresi elde edildiği görülmüştür. Ancak önerilecek hücresel üretim sisteminde bazı makinelerde parça başına ortalama bekleme süresi ve parçaların üretim süresi artmış ve buna bağlı olarak parçaların üretim miktarı azalmıştır. Bu alanlarda da iyileşme sağlanması için işletmenin yapması gereken ödevler konusunda önerilerimiz ortaya konmuştur.

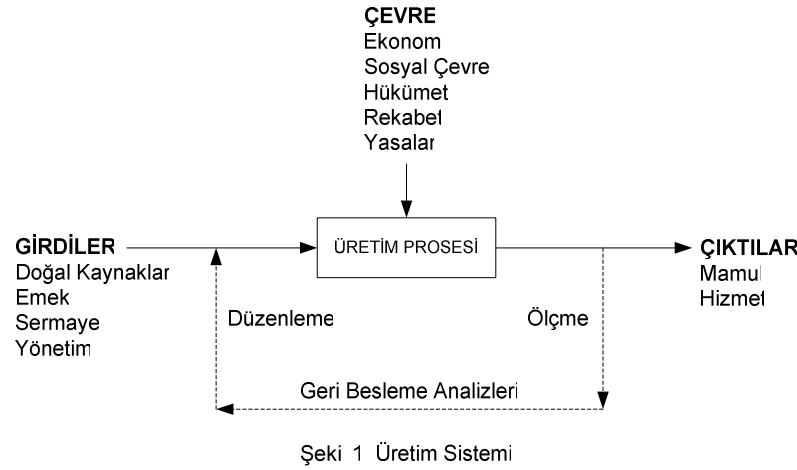
BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ

1. ÜRETİM VE ÜRETİM SİSTEMİ KAVRAMLARI

1.1. Üretim Kavramının Tanımı

Üretim, hammaddeler üzerinde fiziksel ya da kimyasal birtakım değişiklikleri gerçekleştiren enerji uygulamaları yoluyla bu hammaddeleri ürüne dönüştürme sürecidir.¹ Bu dönüşüm sürecinde Şekil 1’de gösterildiği gibi doğal kaynaklar, emek, sermaye ve yönetim gibi girdi öğeleri, mamul ve hizmet biçimindeki çıktılara dönüşmektedir. Sistemin gereksinimleri ve tüketicilerin geribildirimleri, özel iletişim kanallarıyla girdi birimine bağlanmakta böylece, girdi öğelerinde ve dönüşüm süreçlerinde gerekli uyum ve uyarlamalar yapılmaktadır. Üretim sistemlerinin yönetiminde amaç, üretim prosesinde etkinliği sağlayarak, girdilerin toplam değerinden çok daha büyük bir çıktı değeri gerçekleştirmektir.²



Bülent Kocu **Üretim Yönetimi** (İstanbul: Avcıol Basım Yayın, 2003)der
uyarlandı

¹ Katsundo Hitomi, **Manufacturing Systems Engineering - A Unified Approach to Manufacturing Technology, Production Management and Industrial Economics** (Second Edition. Great Britain: Taylor & Francis Ltd., 1996), s. 4.

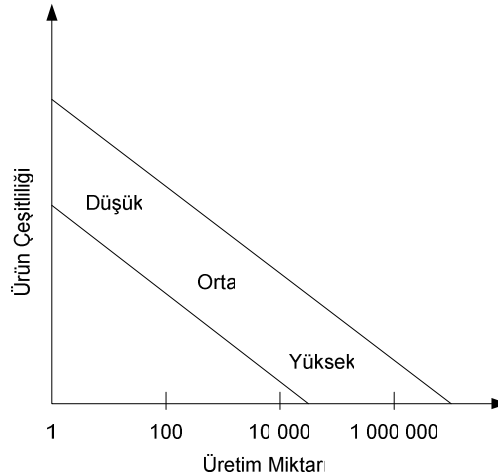
² Mehmet Şahin, **Üretim Yönetimi** (Eskişehir: Anadolu Üniversitesi – İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 2005), s. 2.

1.2. Üretim Miktarı Kavramının Tanımı

Üretim miktarı işletme tarafından bir yılda üretilen ürün ya da parça sayısıdır. Parça veya üretim miktarı sınıfları kesin olmamakla birlikte ürün tipine bağlı olarak değişebilir. Bu konuda yapılan genel bir sınıflamanın üç aralığı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:³

1. Düşük düzeyde üretim: Yıllık 100 birimden az.
2. Orta düzeyde üretim: Yıllık 100 – 10.000 birim arası.
3. Yüksek düzeyde üretim: Yıllık 10.000 ve daha fazla birim

Bazı işletmeler farklı ve çeşitli ürün tiplerini düşük ve orta düzeyde üretirken, bazıları ise tek ürün tipinden yüksek düzeyde üretim gerçekleştirir. Bir işletmede üretilen farklı ürün tipleri ürün çeşitliliğini göstermektedir. Farklı ürünler farklı şekillere, büyüklüklere, biçimlere, fonksiyonlara ve pazarlara sahiptir. Bir fabrikadaki ürün tiplerinin sayısı yüksekse bu ürün çeşitliliğinin de yüksek olduğunu ifade etmektedir. Ürün çeşitliliği ve üretim miktarı arasındaki ilişki Şekil 2’de gösterildiği gibi ters yöndedir.



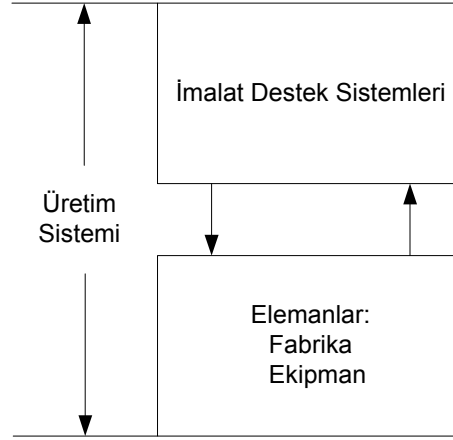
Şekil 2 Bir Üretim Sisteminde Ürün Çeşitliliği ve Üretim Miktarı Arasındaki İlişki

Mikell P. Groover **Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing** (NJ: Prentice Hall 2001)’den uyarlandı

³ Mikell P. Groover, **Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing** (Second Edition. NJ: Prentice – Hall, Inc., 2001), s. 3.

1.3. Üretim Sistemi Kavramının Tanımı

Üretim sistemi bir işletmenin imalat işlemlerini yerine getirmek için organize edilmiş insan, makine ve malzemelerin biraraya getirilmesidir. Üretim sistemleri Şekil 3'de gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.⁴



Şekil 3. Üretim Sistemi Bileşenleri.

Mikell P. Groover, **Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing** (NJ: Prentice Hall 2001)den uyarlandı.

Bir üretim sisteminin elemanları fabrika içerisinde yer alan üretim makineleri ve araçları, malzeme taşıma ekipmanları, muayene ekipmanları ve imalat işlemlerini kontrol eden bilgisayar sistemleridir. İmalat destek sistemleri ise işletme tarafından üretimi yönetmek, hammaddelerin temininde karşılaşılan teknik ve lojistik problemleri çözmek ve ürünlerinin kalite standardını sağlamak için kullanılmaktadır.

⁴ Aynı, s. 2.

2. ÜRETİM SİSTEMLERİ'NİN SINIFLANDIRILMASI

Üretim sistemlerini; üretim yöntemi, ürün cinsi ve üretim miktarı kriterlerine göre farklı biçimlerde sınıflandırmak mümkündür.⁵ Yaptıkları üretim miktarına göre üretim sistemlerini atölye tipi üretim sistemi, parti tipi üretim sistemi ve kitle üretim sistemi olarak sınıflandırılmaktadır.⁶ Değişen koşullara paralel olarak oluşturulan yeni düşünceler ışığında bu üretim sistemleri üzerinde yeni sistem yapılanmaları oluşturulmuştur. Bu yapılanmaya paralel olarak yalın üretim sistemi, esnek üretim sistemi ve grup teknolojisi – hücreli üretim sistemi adıyla anılan sistemler yeni üretim sistemleri olarak literatürde tanımlanmıştır. Sözü edilen tüm üretim sistemleri ayrı başlıklar halinde incelenecektir.

2.1. Atölye Tipi Üretim Sistemi

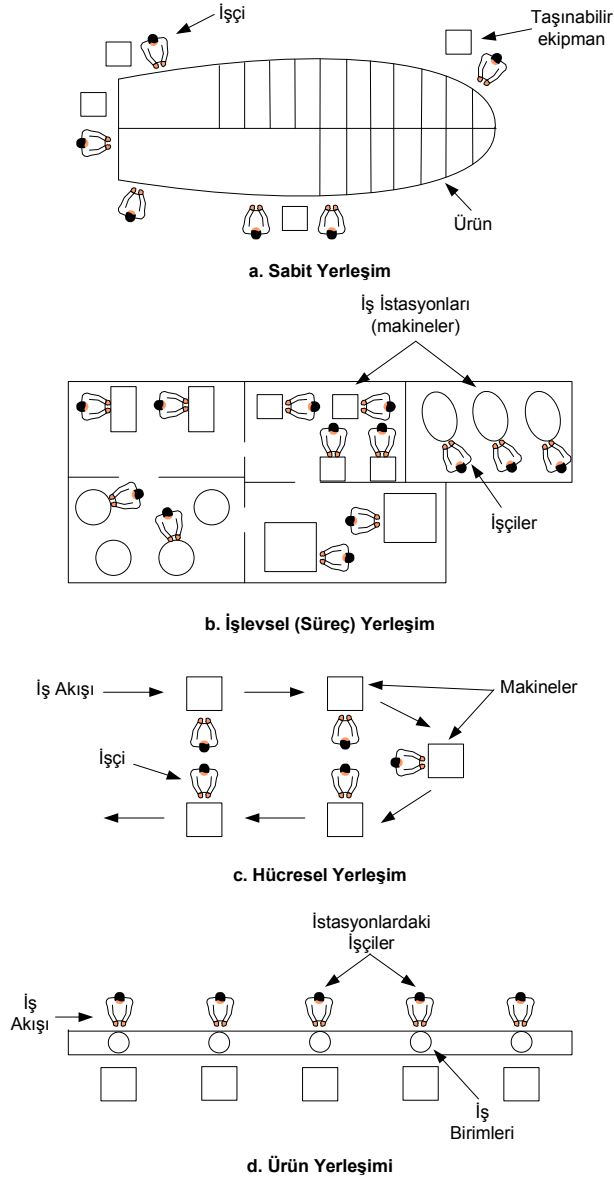
Atölye tipi üretim sisteminde genel olarak az sayıda ancak fiziksel olarak büyük ürünler üretilmektedir. Bu tip üretim sisteminde üretilen ürünler karmaşıktır. Uzay kapsülü, uçak ve özel makine gibi ürünler örnek olarak gösterilebilir. Atölye tipi üretim sisteminde üretilen ürünlerin yanında bu ürünleri oluşturan parçaların da üretimi söz konusu olabilir. Atölye, karşılaşılan geniş ürün çeşitliliği ile ilgili olarak maksimum esneklikte tasarlanmalıdır. Eğer ürün fiziksel olarak büyük ve ağırlık olarak da yüksek ise fabrika içinde hareket ettirilmesi zor olacağından, en azından son montajı boyunca yerinde kalmalıdır. İşçiler ve işlem ekipmanları ürün etrafında çalışır. Bu yerleşim tipi sabit yerleşim olarak adlandırılmaktadır. Sabit fabrika yerleşim türü için örnek Şekil 4.a'da verilmiştir. Bu tip üretim sistemlerinde üretilen ürünlere örnek olarak gemi, uçak, lokomotif gibi makineler verilebilir.

Fiziksel olarak büyük ürünleri oluşturan parçalar genellikle işlevsel (ya da süreç) yerleşime sahip fabrikalarda üretilmektedir. Bu yerleşimde makineler fonksiyonlarına ya da tiplerine göre düzenlenmektedir. Örneğin, tornalar bir

⁵ Bülent Kobu, **Üretim Yönetimi** (Onbirinci Baskı. İstanbul: Avcıol Basım Yayın, 2003), s. 41.

⁶ Groover, **Ön.ver.**, s. 4.

bölümde, frezeler diğer bir bölümde yer alır. Bu durum Şekil 4.b'de gösterilmiştir. Farklı işlem sırasına sahip farklı parçalar genellikle partiler halinde bölümler arasında taşınarak işlenmektedir. Bu yerleşimin dezavantajı; bölümler arasında parçaların taşınmasını gerektirmesidir, bunun sonucunda da süreç içi stok düzeyi yükselebilmektedir.⁷



Şekil 4. Fabrika Yerleşim Türleri.

Mikell P. Groover, **Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing** (NJ: Prentice Hall 2001)den uyarlandı.

⁷ Aynı, s. 4.

2.2. Parti Tipi Üretim Sistemi

Üretilen ürün tipleri birbirinden farklıysa, benimsenen geleneksel yaklaşım parti (batch) tipi üretim sistemidir. Bu üretim sisteminde belirlenen bir ürün tipi için önce belirli sayıda üretim yapılır, daha sonra sistemde diğer bir ürün tipi üretimi için düzenleme yapılır. Her bir ürün tipi için siparişler sıklıkla yenilenir. Üretim sistemindeki donanımın üretim kapasitesi tüm ürünlerin üretiminde kullanılmak için yeterlidir. Makine, ayarlama ya da değişim zamanı süresi içerisinde tekrar programlanır ya da takım uçları değiştirilerek yeni ayar yapılır. Burada kaybedilen üretim zamanı parti tipi üretim sisteminin dezavantajıdır. Genellikle makineler işlevsel yerleşime (Şekil 4.b) göre düzenlenmektedir. Eğer ürün tipleri birbirine benzer özellikler taşıyorsa, orta miktarda üretim düzeyine alternatif bir yaklaşım Şekil 4.c'de gösterilen hücresel yerleşim türüdür. Bu yerleşimde bir ürün tipi ile diğeri arasında çok büyük değişimlere gerek duyulmamaktadır. Benzer parça ya da ürünleri işleyebilen makineler ayarlama için önemli bir zaman kaybı olmadan birlikte gruplandırılabilirler. Farklı parçaların ya da ürünlerin işlenmesi ya da montajı çeşitli iş istasyonları ya da makineleri içeren hücreler içinde gerçekleştirilir.⁸

Parti tipi üretim sisteminde yapılan işlemlerin çoğu montajdan çok kesme, talaşlı imalat ve boyama gibi işlemlerden oluşmaktadır. Parçalar tamamlanmadan önce sistemde görecekları işlem sıralarına göre çok farklı makine merkezlerine uğramak durumundadırlar. Belli tip ürün üzerinde çalışma sürekli olmadığından bu tip üretim sistemi kesiklidir. Sürekli üretim ise standartlaştırılmış yüksek miktarda ürünlerin üretildiği bir üretim sistemidir. Bu sistem yüksek oranda otomatikleştirilmiştir (çalışanların rolü sadece makineleri izlemektir) ve üretim istendiğinde günün 24 saati sürekli dir. Bunun neticesinde çıktılar da kesikli değil sürekli olmaktadır. Demir, kağıt, boya, petrol ve kimyasalların üretimi sürekli üretimdir. Bu sistemin avantajı kontrolün kolay

⁸ Aynı, s. 6.

olması ve yüksek kapasiteye sahip olmasıdır ancak bu tip sistemlerde makine ve tesis için büyük yatırım yapmak gerekmektedir.⁹

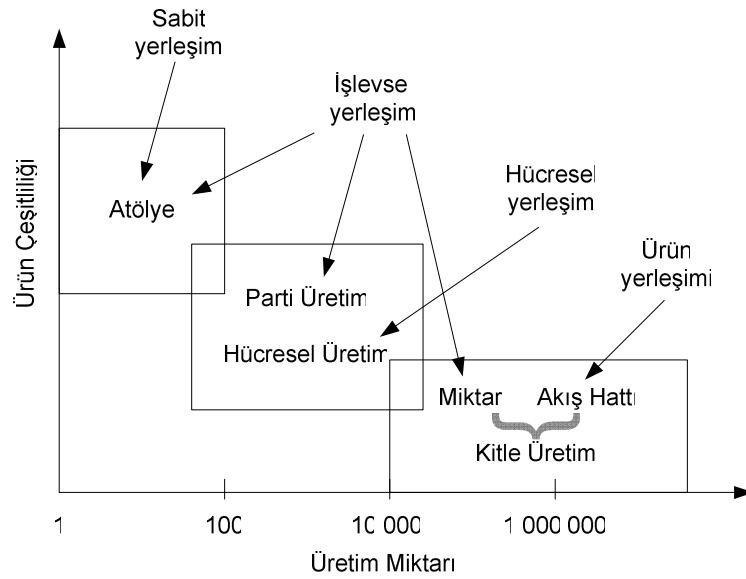
2.3. Kitle Üretim Sistemi

Üretilen ürüne veya parçaya yüksek talep olduğunda, yüksek miktarda üretim bir başka ifadeyle kitle (mass) üretim söz konusu olur. Aynı ürün veya parçadan çok sayıda ürünün üretildiği sistemlere kitle üretim sistemi adı verilir. Kitle üretim tipi, miktar (quantity) tipi üretim ve akış tipi üretim olarak ikiye ayrılabilir. Miktar tipi üretim bir kısım makineler ile bir parçadan çok sayıda üretimin gerçekleştirilmesidir. Makine tek bir tip parçanın üretimi için tahsis edilmiştir. Bu tip üretimde işlevsel yerleşim (Şekil 4.b) kullanılmaktadır. Akış tipi üretimde ise; bir sırada düzenlenmiş çoklu iş istasyonları vardır. Parçalar bir ürünü oluşturmak için iş istasyonları arasında fiziksel olarak hareket etmektedir. Bu tip üretimde yerleşim ürün yerleşimi olarak adlandırılır ve iş istasyonları uzun bir hat üzerinde yer almaktadır.¹⁰

Farklı düzeydeki üretim miktarı ve ürün çeşitliliği için yerleşim tipleri ve üretim sistemleri arasındaki ilişki Şekil 5’de gösterilmektedir.

⁹ Bernard W. Taylor III ve Roberta S. Russell, **Operations Management Quality and Competitiveness in a Global Environment** (United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 2006), s. 224.

¹⁰ Groover, **Ön.ver.**, s. 6.



Şeki 5 Farklı Düzeyde Üretim Miktarı ve Ürün Çeşitliliği İçin Yerleşim Tipleri ve Üretim Sistemler

Mikell P. Groover **Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing** (NJ: Prentice Hall 2001)den uyarlandı

Üretim sistemlerinde yerleşim türlerinin belli karakteristiklerine göre karşılaştırılması Tablo 1’de gösterildiği gibidir.¹¹

Tablo 1. Yerleşim Türleri ile Üretim Sistemi Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

Üretim Sistemi Karakteristikleri	Ürün Yerleşimi	İşlevsel Yerleşim	Hücresele Yerleşim	Sabit Yerleşim
Üretim süresi	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta
Sistemde bulunan parça sayısı	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta
Ürün esnekliği	Düşük	Yüksek	Orta - Yüksek	Yüksek
Talep esnekliği	Orta	Yüksek	Orta	Orta
Makine kullanımı	Yüksek	Orta - Düşük	Orta - Yüksek	Orta
İşçi kullanımı	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Birim üretim maliyeti	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek

¹¹ Ronald G. Askin ve Charles R. Standridge, **Modeling and Analysis of Manufacturing Systems** (United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 1993), s. 11.

2.4. Yalın Üretim Sistemi

Kimi zaman Toyota üretim sistemi (Toyota production system) ve kimi zamanda stoksuz üretim (non-stock production) olarak adlandırılan yalın üretim sistemi (lean production system) Japonya'da 1940'ların ikinci yarısından itibaren Toyota şirketinin öncülüğünde gerçekleştirilmiş, 1980'lerden itibaren de özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygınlaşmaya başlamıştır.¹²

Yalın üretim sistemi kitle üretim sistemini iyileştirmek için geliştirilmiş bir üretim sistemi yaklaşımıdır. Kitle üretim sistemi esneklikten yoksundur ve her üretim faktörünün olabildiğince çok sayıda (kitlesel bir şekilde) kullanılmasından dolayı bir israf söz konusudur. Yalın üretim, “en az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebine de bire bir uyabilecek şekilde, en az israfla ve nihayet tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp, bu faktörlerin tümünden yararlanarak nasıl gerçekleştiririz?” arayışının bir sonucudur. Yalın üretim sistemi, bu hedeflerin tümünü aynı anda gerçekleştirme ilkesine dayanır ve Batı'da 1900'lerin başlarından beri hakim olmuş kitle üretim sistemi yaklaşımını tersyüz eden, bir anlamda her şeye alışılmışın tam tersi yönünde yaklaşan bir sistemdir.¹³

2.5. Esnek Üretim Sistemi

Esneklik genel olarak imalat sistemlerinde istenen bir özelliktir. Bu özelliğe sahip sistemler esnek imalat sistemleri, esnek montaj sistemleri ya da benzeri isimlerle anılırlar. Bu tip sistemler farklı parça tiplerini üretebilirler ya da bir parça üretimden kaldırıldığında yeni parça tipinin üretimine kolaylıkla uyarlanabilirler. Bir imalat sisteminin esnek olabilmesi için aşağıdaki yeterliliklere sahip olması gerekmektedir:¹⁴

¹² Ayperi Serdaroğlu Okur, **Yalın Üretim 2000'li Yıllara Doğru Türkiye Sanayi İçin Yapılanma Modeli** (İstanbul: Söz Yayın Oyunajans Ltd., 1997), s. 1.

¹³ Aynı, s.28.

¹⁴ Groover, **Ön.ver.**, s. 387.

- Farklı iş istasyonları belirlenebilmeli. Bu iş istasyonlarında üretilcek farklı parça ve ürün tipleri için gerekli olan doğru operasyonlar iş istasyonlarında belirlenebilmelidir.
- Operasyon talimatları hızlı değişmeli. Bilgisayar kontrollü üretim makinelerindeki parça programı ya da talimatları, verilen parça için doğru operasyonu uygulayabilmelidir.
- Fiziksel ayarlamaların kısa zamanda değişiminin sağlanabilmesi. Farklı tipteki işler için, bir işten diğerine geçişte hiç zaman kaybı olmadan üretim yapılmalıdır. Esnek imalat sistemi takım değiştirme ve sabitleme işlemlerinde yapılması gerekli değişiklikleri çok kısa bir zaman içinde yapabilmelidir.

Esnek imalat sisteminde istasyonlar birbirine otomatik malzeme taşıma sistemi ile bağlanmıştır ve merkezi bir bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Esnek imalat sisteminde anahtar bileşenler, otomatik programlanabilir makineler, otomatik takım değişimi, makineler arasında parçaların transferi ile parçaların makinelere yüklenmesi ve sökülmesi için otomatik malzeme taşıma ve eşgüdümlü kontroldür.¹⁵

Hücreyel yerleşimde, makineler arasındaki malzeme taşıma sistemi tamamıyla otomatik olduğunda, yerleşim esnek imalat sistemi özelliğine sahip olmaktadır.¹⁶ Burada bir veya birden fazla, çok amaçlı bilgisayar kontrollü makinelerden oluşan imalat hücreleri vardır. Parçaların makinelere yerleştirilmesi ve bir makineden diğerine taşınması robotlar ve karmaşık transfer mekanizmaları ile gerçekleştirilmektedir. Girdiler, ihtiyaç olan yerlere uzaktan kumandalı araçlarla getirilmekte, robotlar tarafından işlem görülecek makinelere yerleştirilmekte ve daha sonra tekrar robotlar tarafından alınarak depoya gönderilmek üzere araçlara yüklenmektedir. Bu sistemlerde direkt işçilik, malzeme taşıma ve depolama ile ilgili problemler en aza indirilmekte, sürat ve verimlilik arttırılmaktadır.¹⁷

¹⁵ Askin ve Standridge, **Ön.ver.**, s. 125.

¹⁶ Groover, **Ön.ver.**, s. 437.

¹⁷ Aykut Top, **Üretim Yönetimi** (İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım, 2006), s. 12.

2.6. Grup Teknolojisi ve Hücresel Üretim Sistemi

Bu üretim sistemi çalışmamızın temel konusu olduğu için izleyen bölümde ayrıntılı olarak ele alınıp incelenecektir.

3. GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ

3.1. Grup Teknolojisi ve Hücresel Üretim Sistemi İle İlgili Kavramsal Açıklama

Grup teknolojisinde tasarım ve imalatın tüm adımlarındaki benzerlik avantajından yararlanmak için birbirleriyle ilişkili ya da benzer parçaları ve süreçleri bir araya getirmek ve tanımlamak temel amaçtır. Parça aileleri için seçilen makineler hücre yerleşimine uygun olarak bir araya getirilir ve parçalar işlem sıralarına göre bir makineden diğerine giderek işlem görür.¹⁸

Hücresel üretim ise grup teknolojisi felsefesinin üretimde uygulanmasıdır. Grup teknolojisinde hücresel üretim düzenlemesi özellikle Amerika'da üretime uygulanan bir düzenleme biçimidir. İlk kez Mitrofansu ve A. P. Sokolovski tarafından 1940'lı yılların sonlarında Sovyetler Birliği'nde tanımlanmış ve ilk araştırmalar F. E. Flanders tarafından üretim ve kontrol sorunlarını gidermek için başlatılmıştır.¹⁹

Hücresel üretimin amacı, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmaktır. Başka bir ifade ile daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edebilmektir. Bir hücresel üretim sisteminde hücre; parça ailelerinden ve makine gruplarından

¹⁸ C. C. Gallagher ve W. A. Knight, **Group Technology Production Methods in Manufacture** (NY: John Wiley & Sons, 1986), s. 15.

¹⁹ M. Hulûsi Demir ve Şevkinaz Gümüsoğlu, **Üretim Yönetimi (İşlemler Yönetimi)** (Genişletilmiş 6. Bası. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş., 2003), s. 277.

oluşmaktadır. Hücre oluşturmada amaç, parçaların diğer hücrelerle minimum ilişki ile işlendiği hücreler (makine grupları) oluşturmaktır.²⁰

Hücre oluşturma şu şekilde tanımlanabilir: Eğer üretim makinelerinin sayısı, tipleri ve kapasiteleri, üretilen parçaların sayısı, tipleri ve her parça için üretim rota planları biliniyorsa, makineler ve onlarla ilişkili parçalar hücreler oluşturmak için birlikte gruplandırılır. Burada öncelikle hücre oluşturma için parçaların ve makinelerin sayıları belirlenmektedir. Daha sonra ise parça aileleri ile makine hücreleri belirlenmekte ve parça aileleri işlenecekleri makine hücresine atanmaktadır. Sonuç olarak hücre oluşturmada verilecek kararları üç başlık altında toplamak mümkündür: Parça ailelerinin belirlenmesi, makine hücrelerinin belirlenmesi, hücrelerin ailelere atanması ya da ailelerin hücrelere atanması. Bu üç karar hücre oluşturma probleminin alt problemlerini oluşturmaktadır ve birbirleriyle ilişkilidir.²¹

Grup teknolojisi ve hücresel üretim çok çeşitli imalat durumlarına uygulanabilmektedir. İşletmelerin grup teknolojisini uygulayabilmek için aşağıda belirtilen durumlara sahip olması gerekmektedir.²²

- Öncelikle geleneksel parti tipi üretimi ve işlevsel yerleşimi kullanan işletme olması. Çünkü bu işletmelerde malzeme taşıma çoktur, süreç içindeki stok ve üretim süresi yüksektir.
- Parçalar, parça aileleri şeklinde gruplandırılabilir olmalıdır.

²⁰ G. K. Adil, D. Rajamani ve D. Strong, "Cell Formation Considering Alternate Routeings," **International Journal of Production Research**, Cilt No 34, Sayı No 5: 1361-1380, (1996), s. 1361.

²¹ Hassan M. Selim, Ronald G. Aksin ve Asoo J. Vakharia, "Cell Formation in Group Technology: Review, Evaluation and Directions for Future Research," **Computers and Industrial Engineering**, Cilt No 34, Sayı No 1: 3-20, (1998), s. 4.

²² Mikell P. Groover, **Ön.ver.**, s.421.

3.2. Hücresel Üretim Sistemi'nin Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması

3.2.1. Hücresel Üretim Sistemi'nin Üstün Yönleri

Hücresel üretim sisteminin sistem performansına yönelik sağladığı üstünlükler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.²³

- Malzeme taşıma azalır: Hücresel üretim sistemi yerleşiminde, parça bir hücre içerisinde işlenir. Böylece, parçanın gezinme zamanı ve uzaklık minimum olacağından malzeme taşıma da azalır.
- Üretim süresi kısalır: Hücresel üretim sisteminde akış tipi üretimin avantajından yararlanılarak parçaların üretim süresinde azalma sağlanabilir.
- Ayarlama süresi azalır: Hücresel üretim sisteminde benzer parçalar gruplandırıldığından bu parçalar için benzer biçimlendirmeler gerekmektedir, bu da ayarlama süresini azaltmaya yardımcı olur. Esnek üretim sistemlerinin gelişimi ile sağlanan otomatik takım değiştiricileri tarafından ayarlama azalma, işleme süresinde azalma, düşük maliyette yüksek kaliteli ürünler üretme gerçekleştirilebilmektedir.
- Parti büyüklüğü küçülebilir: Hücresel üretim sisteminde ayarlama süresi büyük ölçüde azaltıldığından küçük partilerin yapılması ekonomik olmaktadır.
- Sistemdeki parça sayısı azalır: Hücresel üretim sisteminde üretim süresi azalacağından sistemde bulunan parça sayısı ve süreç içi stok miktarı daha düşük olacaktır.

²³ Nanua Singh ve Divakar Rajamani, **Cellular Manufacturing Systems: Design, Planning and Control**. (London: Chapman & Hall, 1986), s. 4-7.

- Teslim zamanı doğru belirlenir: Önceden tanımlanmış miktardaki bir tip parçayı üretmek için hücrenin yeterliliği teslim zamanının daha doğru ve güvenilir olarak belirlenmesini sağlamaktadır.
- Makine kullanımı azalır: Ayarlama sürelerinin azalmasından dolayı makinenin etkili kapasitesi artmaktadır, bu da daha düşük bir kullanıma yol açmaktadır.
- Yatırımın geri dönüşü hızlıdır: Makinelerin tekrar yerleşimi ve kayıp üretimden dolayı oluşan maliyetler kolaylıkla stoktan, makinelerin etkili kullanımından, emekten, kaliteden ve malzeme kullanımından tekrar kazanılabilmektedir.
- Emek tasarrufu sağlar: Hücrenin kullanım düzeyinin düşük olmasından dolayı, bir işçiyi birden fazla makineye atayarak işgücünün kullanımını daha iyi yapmak mümkündür.
- Kalite çalışmaları kolay yürütülür: Parçalar tek birimler ya da küçük partiler halinde bir istasyondan diğerine hareket ettiğinden, parçalar küçük bir alan içinde tam olarak işlenir, geridönüş hızlıdır ve süreç hatalı giden şeyin ne olduğunu bulmak için durdurulabilmektedir.
- Alan kazanımı olur: Sistemdeki parça sayısındaki azalmadan dolayı, yeni makineler eklemek ve genişleme için önemli ölçüde kullanılabilir alan kazanılabilecektir.

3.2.2. Hücresel Üretim Sistemi'nin Zayıf Yönleri

Pek çok üstünlüğünün yanısıra hücresel üretim sisteminin bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır. Bunlar:²⁴

- Parça ailelerinin belirlenmesindeki zorluklar: Parça ailelerinin oluşturulması ve hücrelere makinelerin atanması her zaman kolay olmayabilir. Tasarımları dikkate alınarak belirlenen parça aileleri imalat işlemleri açısından bakıldığında uygun olmayabilirler.

²⁴ Taylor ve Russell, **Ön.ver.**, s. 279.

- Hücreler arasında iş yüklemesinin dengelenmesindeki zorluklar: Bir hücre içerisindeki iş akışının dengelenmesi bir montaj hattının dengelenmesinden daha zordur, çünkü parçalar hücre içerisinde farklı sıraları takip edebilmektedirler ve bu da farklı makineler ve işlem süreleri gerektirmektedir. Yanlış dengelenmiş hücreler çok verimsiz olabilir. Bir hücrenin çok yüklenmesi ve diğerinin boş olmaması için sistemde yer alan hücreler arasında iş yüklemesinin dengelenmesi çok önemli olmaktadır.
- Çalışanların eğitilmeleri gerekir: Farklı görevler için çalışanların eğitilmesi masraflıdır, zaman alır ve işçiler arasında bir işbirliği gerektirmektedir.
- Yeniden düzenlemenin getirdiği ek maliyetler: Hücresel üretim sisteminde çoklu küçük makineler, tek büyük makinelere tercih edilmektedir. Farklı hücreler için aynı tip makinelerden ek olarak satın alınması gerekebilmektedir. Ayrıca makinelerin taşınması dolayısıyla fabrikanın bir süre çalışamaz hale gelmesinin maliyeti de yüksek olabilmektedir.

3.2.3. Hücresel Üretim Sistemi Uygulamaları

Hücresel üretim sistemi uygulamalarının endüstride nasıl olduğunu öğrenmek için gerçekleştirilen çok sayıda araştırma vardır. Bu araştırmalardan bir tanesi Wemmerlöv ve Johnson'ın 1996 yılında 46 işletmeye uyguladıkları ankettir. Bu 46 işletme ürünlerini üretirken hücresel üretim sistemini kullanmaktadır ve çoğunlukla bu işletmeler metal endüstrisinde faaliyet göstermektedir. Bu işletmelerin hücresel üretim sistemini oluşturma nedenleri ve her bir nedene verdikleri ortalama önem derecesi Tablo 2'de gösterilmektedir.²⁵

²⁵ Urban Wemmerlöv ve Danny J. Johnson, "Cellular Manufacturing at 46 User Plants: Implementation Experiences and Performance Improvements," **International Journal of Production Research**, Cilt No 35, Sayı No 1: 29-49, (1997), s. 33.

Tablo 2. İşletmelerin Hücresel Üretim Sistemini Oluşturma Nedenleri

Sıralama	Neden	Ortalama Önemlilik Derecesi
1	Üretim süresini azaltmak	4,51
2	Sistemde bulunan parça stoğunu azaltmak	4,33
3	Parça / ürün kalitesini artırmak	4,22
4	Müşteri siparişlerine cevap verme süresini azaltmak	4,22
5	Taşıma uzaklıklarını ve taşıma süresini azaltmak	4,14
6	İmalat esnekliğini artırmak	3,81
7	Birim maliyeti azaltmak	3,8
8	Üretim planlama ve kontrolünü basitleştirmek	3,62
9	Çalışanların bağlılığını artırmak / kolaylaştırmak	3,57
10	Ayarlama sürelerini azaltmak	3,43
11	Bitmiş mal stoğunu azaltmak	3,41

Not: Herbir neden 1'den 5'e kadar 5'li ölçek kullanılarak ölçülmüştür
 "1: Önemsiz" "5: Çok Önemli" anlamındadır.

Wemmerlöv ve Hyer'in hücresel üretim sistemini kullanan 32 işletmede 1989 yılında uyguladıkları başka bir anket sonucunda da işletmeler hücresel üretim uygulanması neticesinde oluşan maliyetleri aşağıdaki şekilde sıralamışlardır.²⁶

- Makinelerin tekrar yerleşimi ve kurulması maliyeti,
- Olurluluk çalışmaları, planlama ve tasarım ile ilgili maliyetler,
- Yeni makine ya da mevcut makineden tekrar satın alınması ile ilgili maliyetler,
- Eğitim maliyeti,
- Yeni takım ve bağlama düzenlerinin maliyeti,
- Programlanabilir bilgisayar ve yazılım maliyeti,
- Malzeme taşıma ekipmanlarının maliyeti,
- Yeni sistemi kurma süresince oluşacak üretim kaybının maliyeti,
- Yüksek operatör ücretlerinden dolayı oluşan maliyet.

²⁶ Urban Wemmerlöv ve Nancy L. Hyer, "Cellular Manufacturing in the U.S. Industry: A Survey of Users," **International Journal of Production Research**, Cilt No 27, Sayı No 9: 1511-1530, (1989), s. 1526.

Hücresel üretim sistemi uygulamalarının durumunu ortaya çıkartmak, ABD'deki yayınlanmış hücresel üretim sistemi uygulamalarıyla karşılaştırmak ve uygulamadaki sorunları analiz ederek geleceğe yönelik hücresel üretim sistemi stratejilerini belirlemek amacıyla Türkiye'de de bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışma çeşitli ölçeklerdeki 44 firmayı ve toplam 207 hücreyi kapsamaktadır ve 2001 – 2002 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, firmalar hücresel üretim sistemi projelerini bir takım teknik ve finansal kısıtlar altında gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir. Bu kısıtlar ve bunlara dair oranlar aşağıda gösterilmektedir.²⁷

Ürün / süreç parametreleri	%81
Yeni donanım / makine satın alamamak	%69
İmalat alanı	%56
Parçaların / ürünlerin tamamen bir hücre içinde tamamlanması	%56
Finansman	%50
Üretim miktarı gereksinimi	%44
İşgücü gereksinimi	%19
Üst yönetimin sabırsızlığı	%6

Ayrıca hücrelerde işlenen parçaların %32'si hücre içerisinde tamamlanamayıp, diğer bir hücreyi ziyaret etmek zorunda kalmaktadır. Sonuç olarak hücre uygulamalarında %68 oranında hücre bağımsızlığı mevcuttur. Bunun yanısıra incelenen firmalarda hücre oluşturma ile ilgili iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar:

1. İlk önce ürün / parça aileleri belirlenir. Daha sonra bunların üretimi için gerekli olan donanım, makineler ve işgörenler atanır.
2. İlk önce kilit donanım / makine seçilir. İlgili donanım / makineler, kilit makinenin yanına yerleştirilir.

²⁷ M. Bülent Durmuşoğlu, Osman Kulak ve H. Hakan Balcı, "Türkiye'de Hücresel Üretim Uygulamalarının Analizi ve Değerlendirilmesi," **Endüstri Mühendisliği**, Sayı No 2, (2003).

Çalışmada, anketi yanıtlayanlara hücre tasarımı sırasında planlanan hücrelerin değerlendirip değerlendirmedikleri sorulmuş; tüm firmaların %94'ünün tasarlanan hücrelerin performansını değerlendirdikleri belirlenmiştir. Değerlendirme sırasında kullanılan yöntemler sorulduğunda yanıtlayanların tamamı analitik yöntemleri kullandıklarını ifade etmişlerdir. Bunun yanında firmaların %73'ü bilgisayar simülasyonunu bir araç olarak kullandıklarını belirtmişlerdir.

İKİNCİ BÖLÜM

HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ'NİN KURULMASI

1. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ'Nİ KURMANIN AŞAMALARI

Hücreyel üretim sisteminin kurulması sürecinin adımları aşağıdaki gibidir.

- Üretilcek parçaların üretim rota bilgilerinin elde edilmesi, bu parçaların işlenmesinde kullanılacak makine türleri ile makine sayılarının elde edilmesi ve parça makine matrisinin oluşturulması,
- Hücrelerin oluşturulması için uygulanacak hücre oluşturma yönteminin belirlenmesi,
- Son olarak da oluşturulan hücreyel üretim sisteminin değerlendirilmesi.

1.1. Parça Makine Matrisinin Oluşturulması

Bir parça makine matrisi $a = \{a_{pm}\}$ parçaların üretimi için gerekli işlem bilgilerini içermektedir. Matris elemanı a_{pm} p parçasının m makinesinde işlenip işlenmediğini gösterir ve eğer p parçası m makinesinde işleniyorsa 1, işlenmiyorsa 0 (ya da boşluk) değerini alır. Örneğin Tablo 3'deki a_1 parça makine matrisi altı parça ve altı makineden oluşmaktadır. Bu parça makine matrisi parça ailesini ve makine grubunu belirlemek için çapraz blok formunda tekrar düzenlenirse Tablo 3'deki a'_1 matrisi elde edilir.²⁸

²⁸ Aynı, s. 1362.

Tablo 3. Bir Parça Makine Matrisinin Bölümlemesi

Parça	Makine					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1		1	
2		1		1	1	1
3		1		1		1
4	1		1		1	
5		1	1		1	
6		1		1		1
a_1 Matrisi						

Parça	Makine					
	1	3	5	2	4	6
1	1	1	1	1		
4	1	1	1			
5		1	1	1		
2			1	1	1	1
3				1	1	1
6				1	1	1
a'_1 Matrisi						

a'_1 matrisi, $\{(Makine:1,3,5), (Parça:1,4,5)\}$ ve $\{(Makine:2,4,6), (Parça:2,3,6)\}$ olmak üzere birbirine bağlı iki hücreden oluşmuştur. Bu bölümlene neticesinde üç tane dışta kalan parça, ki bunlar 1, 5 ve 2 nolu parçalardır, ve bir tane de 1 nolu makine için boş (void) oluşmuştur.²⁹

Elde edilen bölümlenmenin kalitesi hücrelerin içerisinde yer alan “0”ların sayısı [boşlar (voids) olarak bilinir] ve hücrelerin dışında yer alan “1”lerin sayısı [dışta kalan parçalar (exceptional parts) olarak bilinir] az olduğunda yükselmektedir. Bir boş, bir hücreye atanan makinenin o hücredeki bir parçanın işlenmesi için gerekli olmadığını ifade etmektedir. Boşların bulunması verimsiz geniş hücrelere neden olmaktadır. Bu da hücre içinde parçalar için ek taşıma anlamına gelmektedir. Bir dışta kalan parça; bir parçanın atanmış olduğu hücrede bulunmayan bir makine tarafından işlenmesi gerektiğinde ortaya çıkmaktadır. Parça, işlemler için farklı hücreye uğramak zorunda olduğundan, hücreler arasındaki taşıma artmakta böylece hücreler arasında daha fazla koordinasyon gerekmektedir.³⁰

Tablo 3’de yer alan a'_1 matrisi mükemmel olmayan çaprazlamaya bir örnektir. Çünkü çaprazlama 1 boş ve 3 dışta kalan parçaya sahiptir. Bu örnekte matris boşların ve dışta kalan parçaların sayısını azaltmak için daha fazla düzenlenemez. Gruplanabilirliği geliştirmek için iki muhtemel yaklaşım parçalar

²⁹ Coello Coello ve A. Carlos, **Applications of Multi – Objective Evolutionary Algorithms**. (NJ: World Scientific Publishing Company, 2005), s. 509.

³⁰ Adil, Rajamani ve Strong, **Ön.ver.**, s. 1362.

için alternatif üretim rotalarını ve kullanılabilir makinelerin ek kopyalarını göz önüne almaktır.³¹

Tablo 4’de yer alan a_2 matrisinde parça 5 için ek bir alternatif üretim rotasının olduğu durumda, a'_2 matrisinde gösterildiği gibi 1 boş ve 2 dışta kalan parça elde edilir. Bu dışta kalan parça sayısını 3 ten 2 ye düşürmüştür. Böylece, alternatif üretim rotalarını göz önüne alma parça makine matrisi verilerinin gruplanabilirliğini artırmıştır.³²

Tablo 4. Alternatif Üretim Rotası İle Bölümlemedeki Gelişme

Parça	Makine						Parça	Makine					
	1	2	3	4	5	6		1	3	5	2	4	6
1	1	1	1		1		1	1	1	1	1		
2		1		1	1	1	4	1	1	1			
3		1		1		1	5(2)	1	1				
4	1		1		1		2			1	1	1	1
5(1)		1	1		1		3				1	1	1
5(2)			1		1		6				1	1	1
6		1		1		1							

a_2 Matrisi

a'_2 Matrisi

Pek çok örnekte, aynı makine tipinden birden fazla sayıda kullanılabilmektedir. Fakat aynı tip makineler parça makine matrisinin yapısından dolayı 1 makine olarak kabul edilmektedirler. Bir makine tipindeki her bir makineyi ayrı ayrı ele almak ve bir hücreye bu makinelerin bir ya da daha fazlasını atamak dışta kalan parçaların sayısını azaltabilir. Makine tipi 2’den kullanılabilir 2 adet olduğunu varsaydığımızda elde edilen çaprazlama Tablo 5’te gösterilmektedir. Çaprazlanmış a'_3 matrisi 2 boş ve 1 dışta kalan parçaya sahiptir. Bu durumda, dışta kalan parçaların sayısı 2 azalırken boşların sayısı 1 artmıştır. Fakat boşların ve dışta kalan parçaların toplam sayısı azalmıştır. Sonuç olarak, alternatif üretim rotaları ve aynı tip makinelerin her

³¹ Andrew Kusiak ve M. Cho, “Similarity Coefficient Algorithms For Solving the Group Technology Problem,” **International Journal of Production Research**, Cilt No 30, Sayı No 11: 2633-2646, (1992), s. 2634.

³² Adil, Rajamani ve Strong, **Ön.ver.**, s. 1363.

birinin göz önüne alınması parça makine matrisinin gruplanabilirliğini geliştirmektedir.³³

Tablo 5. Makine 2'den 2 Adet Olduğunda Bölümlemedeki Gelişme

		Makineler						
		1	3	5	2	2	4	6
Parçalar	1	1	1	1	1			
	4	1	1	1				
	5		1	1	1			
	2			1		1	1	1
	3					1	1	1
	6					1	1	1

a'_3 Matrisi

1.1.1. Oluşturulacak Matristeki Boşların ve Dışta Kalan Parçaların Etkileri - Kontrol ve Koordinasyon Etkisi

Hücre oluşturma'nın amacı, içerdiği parça makine sayısı bakımından küçük olan bağımsız hücreler elde etmektir. Bu hücreleri kontrol etmek kolaydır. Boşlar ve dışta kalan parçalar hücre büyüklüğü ve hücre etkileşimi ile ilişkilidir. Bunu Şekil 6'da gösterilen çapraz bloklanmış matris ile açıklayalım. Bir başka açıdan bakıldığında, hücre oluşturma'nın amacı, boşlar ve dışta kalan parçaların ağırlıklı toplamının minimizasyonudur. Bu amaç,

$$Minimum = (1 - w)r + we$$

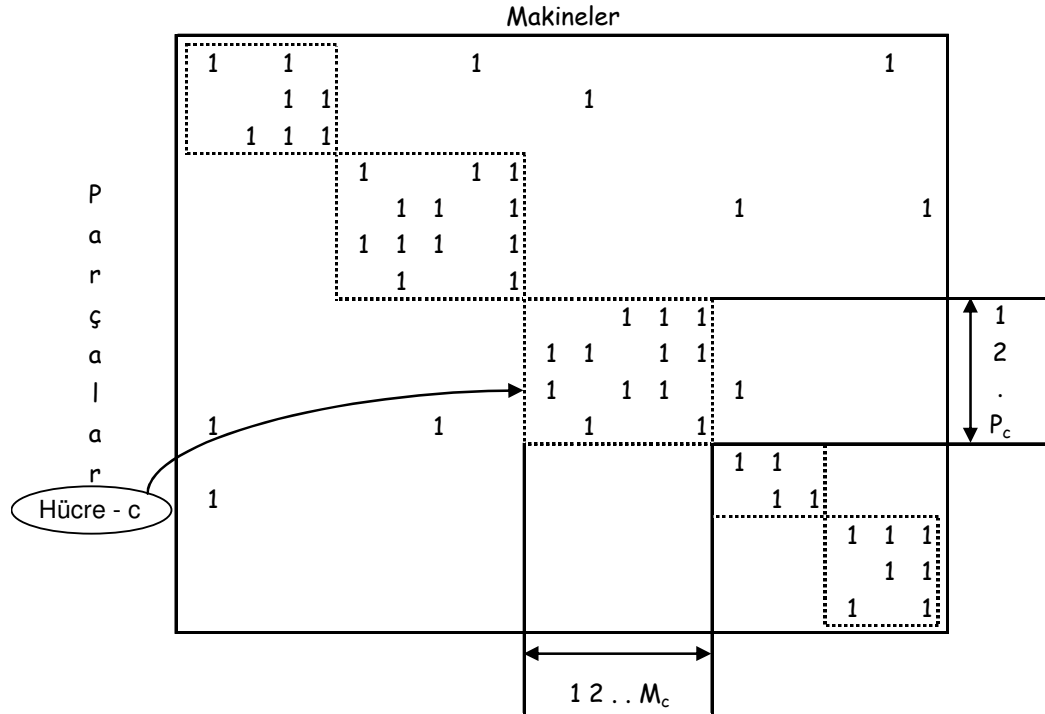
ya da,

$$Minimum = (1 - w) \sum_c M_c P_c - (1 - w)O + e$$

fonksiyonları ile ifade edilebilir.

³³ Aynı, s. 1363.

Burada, c hücre indeksini, e çözümde yer alan dışta kalan parçaların sayısını, O matris içindeki "1"lerin sayısını, r çözümde yer alan boşların sayısını, M_c c hücresine atanan makinelerin sayısını, P_c c hücresine atanan parçaların sayısını, w dışta kalan bir parçanın ağırlığını ($0 \leq w \leq 1$), $(1-w)$ ise boşların ağırlığını göstermektedir.³⁴



Şekil 6. Çapraz Bloklanmış Matris

G. K. Adil, D. Rajamani ve D. Strong, "Cell Formation Considering Alternate Routeings," **International Journal of Production Research** (Cilt No 34, Sayı No 5, 1996)dan uyarlandı.

Amaç bu olduğunda, hücre büyüklüğü (parça ve makinelerin sayısı) ve dışta kalan parçaların sayısı (hücreler arası etkileşim) arasındaki ödünleşme göz önünde bulundurulmalıdır. Büyük hücrelerde üretimi planlama, çizelgeleme ve genel olarak kontrol yapmak zordur. Diğer taraftan küçük hücreler ise daha fazla sayıda dışta kalan parçaya neden olabilir ve bu yüzden hücreler arasında daha fazla koordinasyona gereksinim duyulur.³⁵

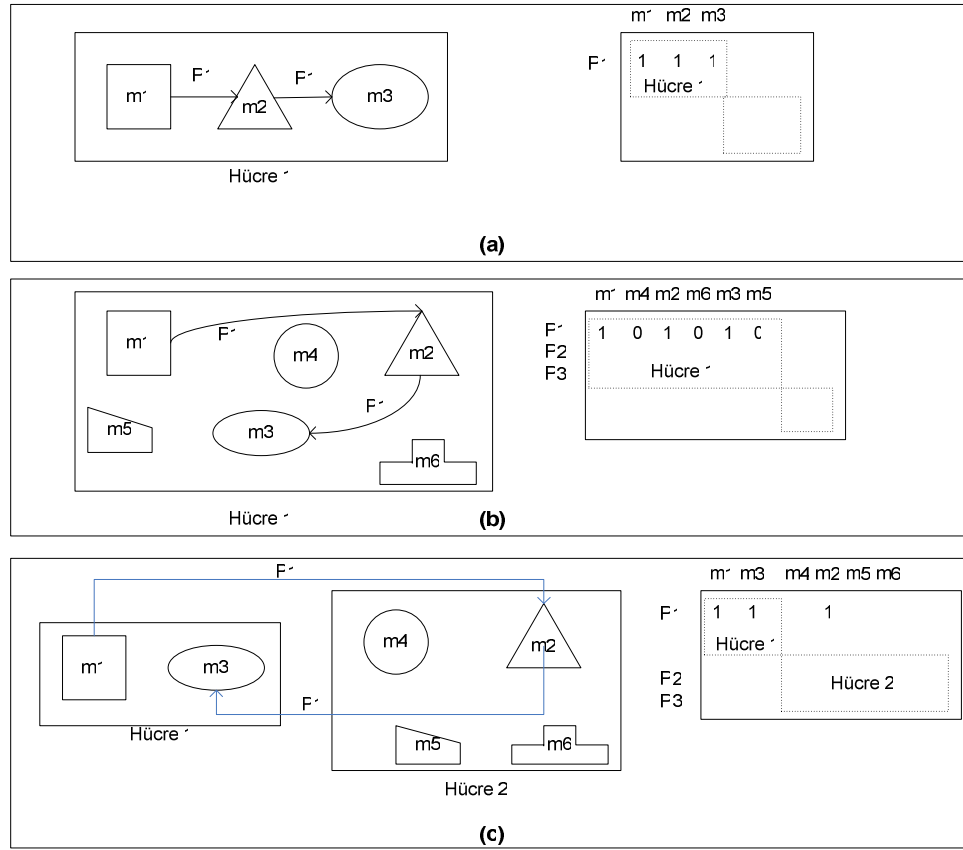
³⁴ Aynı, s. 1368.

³⁵ Aynı, s. 1368.

1.1.2. Oluşturulacak Matristeki Boşların ve Dışta Kalan Parçaların Etkileri - Hücre İçinde ve Hücreler Arasında Malzeme Taşıma Etkisi

Boşlar ve dışta kalan parçalar hücre içinde ve hücreler arasında malzemenin taşınması ile ilgili bilgileri açıklayabilir. Örneğin Şekil 7a; m1, m2 ve m3 makinelerinde işlemi olan P1 parçasının hücre 1'e atandığını gösterir. Bu durumda hücre içindeki taşıma minimumdur ve aynı zamanda hücreler arasında taşıma gerekli değildir. Şekil 7b ise, 6 adet makinenin hücre 1'e atandığını ve verilen yerleşim en iyi ise, burada parça 1'in hücre içindeki taşınmasının durum 1'e göre arttığını gösterir. Bu durum çapraz bloklanmış matristeki boşların sayısını artırır. Bundan dolayı, boşların mevcudiyeti hücre içindeki taşımanın artmasına neden olur. Bir parça için gerekli tüm makinelerin bir hücre içinde kullanılabilir olmadığı durumu ise Şekil 7c'de gösterilmiştir. Örneğin m1 ve m3 makinelerinin hücre 1'e, m2 makinesinin de hücre 2'ye atanmış olduğunu düşünelim. Bu hücreler arasında taşımaya neden olur. Bu durum çapraz bloklanmış matriste dışta kalan parçaların bulunduğu anlamına gelmektedir.³⁶

³⁶ Aynı, s. 1369.



Şekil 7 Malzeme Taşımada Boşların ve Dışta Kalan Parçaların Etkisi

G K Adil D Rajamani ve D Strong "Cell Formation Considering Alternate Routeings " International Journal of Production Research (Cilt Nc 34 Sayı Nc 5 1996)dan uyarlandı

1.2. Hücre Oluşturma ve Hücre Oluşturma Yönteminin Seçimi

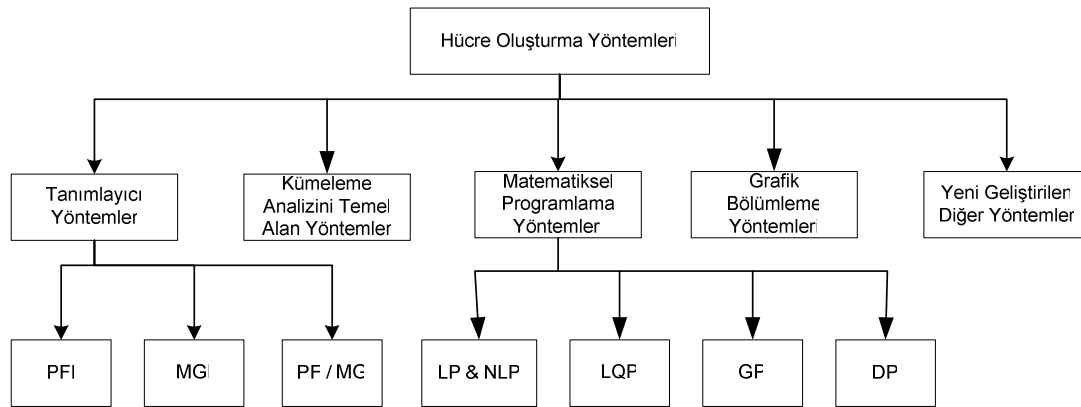
1.2.1. Hücre Oluşturma

Literatürde makine – parça ailelerinin belirlenmesinde, bir başka anlatımla hücre oluşturmada kullanılan üç yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlara göre hücre oluştururken ya görsel inceleme ya parçanın özellikleri ya da parçanın üretim süreci temel alınabilmektedir. Görsel incelemede parçaların geometrilerine göre parça aileleri oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım parça çeşitliliğinin düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır Görsel incelemeyi yapan kişinin uzman olması ve deneyimli olması çok önemlidir. Parça özelliklerinin temel alınması parça çeşitliliği yüksek olduğunda benimsenir.

Burada parçaların taşıdığı özellikleri göz önünde tutmak için parça özelliklerini dikkate alan parça kodlama ve sınıflandırma sistemleri kullanılır. Son yaklaşımda ise, parçaların üretim rotalarındaki bilgilerin analiz edilmesiyle hücreler oluşturulmaktadır. Bu analiz basittir ve hızlı bir şekilde sonuçların elde edilmesine imkan verir.³⁷ İzleyen bölümde kısaca hücre oluşturma yöntemleri tanıtılmaktadır.

1.2.2. Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Tanıtılması

Hücre oluşturma yöntemleri Şekil 8’de gösterildiği gibi beş başlık altında ele alınmaktadır.³⁸



Şekil 8 Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Sınıflaması

H M Selim R G Askin ve A J Vakharia "Cell Formation in Group Technology Review Evaluation and Directions For Future Research " **Computers and Industrial Engineering** (Cilt No 34 Sayı No 1 1998)den uyarlandı

1.2.2.1. Tanımlayıcı Yöntemler

Hücre oluşturmada tanımlayıcı yöntemlerle parçalar ve makineler ayrı ayrı ya da aynı anda başka bir ifade ile eşzamanlı olarak gruplandırılır. Tanımlayıcı yöntemler üç ana başlık altında ele alınabilir. Birincisi parça ailesinin (PFI) belirlenmesini sağlar. Burada hücre oluşturma süreci, öncelikle

³⁷ O. Felix Offodile, Abraham Mehrez ve John Grznar, "Cellular Manufacturing: A Taxonomic Review Framework," **Journal of Manufacturing**, Cilt No 13, Sayı No 3: 196-220, (1994), s. 197.

³⁸ Selim, Aksin ve Vakharia, **Ön.ver.**, s. 7.

parça ailelerinin belirlenmesiyle başlar, daha sonra bu ailelere makineler tahsis edilir. İkincisi, makine gruplarının (MGI) belirlenmesini sağlar Burada hücre oluşturma süreci, öncelikle makine gruplarının belirlenmesiyle başlar, daha sonra bu gruplara parça aileleri tahsis edilir. Üçüncüsü ise parça aileleri ve makine gruplarının (PF/MG) belirlenmesini sağlar. Burada ise parça aileleri ve makine gruplarının belirlenmesi eşzamanlı olarak yapılır.³⁹

1.2.2.2. Kümeleme Analizini Temel Alan Yöntemler

Hücre oluşturma yöntemi olarak kümeleme analizinde karmaşık veri setlerindeki yapıyı tanımlamak için aşağıda açıklanan yöntemlerden yararlanılır. Burada amaç nesneleri ya da onların özelliklerini kümeler içinde gruplamaktır.⁴⁰

1. Sıralama-temelli kümeleme yöntemleri: Sıralama temelli yöntemler, parça-makine matrisindeki $a_{pm} = 1$ değerlerini köşegen bir blok üzerinde toplayabilmek için, uygun bir şekilde satır ve sütunların sırasını tekrar düzenleyerek, parça aileleri ve makine grupları oluşturur. Bu yöntemler arasında Bond Enerji Analizi, Derece Sırası Kümeleme (ROC), Düzenlenmiş Derece Sırası Kümeleme (MODROC), Direkt Kümeleme Analizi (DCA) ve Küme Belirleme Yöntemi (CIA) bulunmaktadır.
2. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri: Hiyerarşik kümelemede, parça makine matrisindeki veri öncelikle birkaç geniş hücre içine ayrılır, daha sonra her biri daha küçük gruplara bölünerek parça aileleri ve makine grupları elde edilir. Bu yöntemler arasında Tekli Bağlantı Kümelemesi (SLC), Tam Bağlantı Kümelemesi (CLC), Ortalama Bağlantı Kümelemesi (ALC) ve Lineer Hücre Kümelemesi (LCC) bulunmaktadır.
3. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri.

³⁹ Aynı, s. 7.

⁴⁰ Aynı, s. 8.

1.2.2.3. Matematiksel Programlama Yöntemleri

Yukarıda açıklanan iki hücre oluşturma yöntemi sezgiseldir. Bu yöntemler parça makine matrisinin yapısından etkilenirler. Ancak en iyi çözümü bulmayı garanti etmezler. Bu nedenle en iyi çözümü sağlayabilen yeni modeller geliştirilmiştir. Matematiksel programlama modelleri bu amaca hizmet eden modellerdendir.⁴¹

Matematiksel programlama yöntemleri, dört grup içinde sınıflandırılabilir. Bunlar doğrusal ve doğrusal olmayan programlama (LP ve NLP), karesel programlama (QP), dinamik programlama (DP) ve hedef programlamadır (GP).⁴²

1.2.2.4. Grafik Bölümleme Yöntemleri

Grafik bölümleme yönteminde parça makine matrisi grafik formülasyonu şeklinde gösterilir. Bu grafikte makineler ve/veya parçalar düğümlerde gösterilir ve parçaların işlenmesine göre bu düğümler birleştirilir. Örneğin bir nolu parça

bir nolu makinede işleniyorsa bu grafikte  şeklinde gösterilir. Bu yöntemler imalat hücrelerini belirlemek için makine-makine ya da makine-parça grafiğinden alt grafikler ayırmayı amaçlar. Düğümlerin ve çizgilerin gösterilmesine bağlı olarak, grafiğin üç tipi kullanılabilir. Bunlar iki kısımlı grafik, geçişli grafik ve sınırlı grafik.⁴³

1.2.2.5. Yeni Geliştirilen Diğer Yöntemler

Hücre oluşturma problemi optimizasyon probleminin bir kombinasyonudur. Optimizasyon algoritmaları uzun bir hesaplama zamanı ile yerel bir optimal çözüm sağlarlar. Bu algoritmalar başlangıç çözüme, girdi parça

⁴¹ Singh ve Rajamani, **Ön.ver.**, s. 97.

⁴² Selim, Aksin ve Vakharia, **Ön.ver.**, s. 9.

⁴³ Singh ve Rajamani, **Ön.ver.**, s. 104.

makine matrisinin gruplanabilirliğine ve belirlenecek hücre sayısına duyarlıdır. Bu dezavantajları giderecek yeni yöntemler son zamanlarda ortaya çıkmıştır. Bunlar; tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, sinir ağları, tabu araştırması ve hedef analizi yöntemleridir.⁴⁴

Hücre oluşturma, araştırmacılar tarafından karmaşık bir problem olarak tanımlanmaktadır (bundan dolayı, genellikle aşama aşama ilerlenmektedir). Her aşamada problemin kapsamını sınırlandırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Problemi genişletmeye çalışmak onu daha çok karmaşık hale getirilmesine ve başarısızlığa neden olmaktadır.⁴⁵

1.2.3. Hücre Oluşturmada Kullanılacak Yöntemin Seçilmesi

Daha öncede ifade edildiği üzere hücre oluşturma yöntemlerinin çoğu sezgiseldir. Bu süreçler başlangıç matrisinden çok etkilenirler ve zorunlu olarak iyi bir sonuç elde edemeyebilirler. Bu nedenle optimal çözümleri sağlayabilen matematiksel programlama modelleri geliştirilmiştir. Adil, Rajamani ve Strong amaç fonksiyonu doğrusal olmayan terimler içeren, parça ve makineleri eşzamanlı olarak gruplayan bir doğrusal olmayan tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Model, modelde kullanılan karar değişkenleri, parametreler ile simgelerin açıklaması aşağıda gösterilmektedir:⁴⁶

Parça ve makineler için eşzamanlı gruplama modeli,

Amaç fonksiyonu:

$$Minz = \sum_{pmcr} w_{pm} a_{pm}^r x_{pc}^r (1 - y_{mc}) + \sum_{pmcr} (1 - w_{pm}) (1 - a_{pm}^r) x_{pc}^r y_{mc}$$

⁴⁴ Ayni, s. 128.

⁴⁵ Adil, Rajamani ve Strong, **Ön.ver.**, s. 1361.

⁴⁶ Singh ve Rajamani, **Ön.ver.**, s. 108.

Kısıtlar:

$$\sum x_{pc}^r = 1 \Rightarrow \forall p$$

$$\sum_c y_{mc} \leq N_m \Rightarrow \forall m$$

$$x_{pc}, y_{mc} \in \{0,1\} \Rightarrow \forall pmc$$

Karar değişkenleri:

$$x_{pc}^r = \begin{cases} 1 & \text{eğer } p \text{ parçası } c \text{ hücresine tahsis edilmişse ve } r \text{ üretim planı seçilmişse} \\ 0 & \text{dd.} \end{cases}$$

$$y_{mc} = \begin{cases} 1 & \text{eğer makine tipi } m \text{'den bir adet } c \text{ hücresine atanmışsa} \\ 0 & \text{dd.} \end{cases}$$

Parametreler:

A = Rotalarına göre parçaların hangi makinelerde işlem göreceğini gösteren matris. a_{pm}^r matris elemanı r üretim planında p parçasının m makinesinde işlenip işlenmediğini (işleniyorsa 1, işlenmiyorsa 0 değerini alır) göstermektedir.

N_m = m tipindeki makinelerin sayısı

w_{pm} = p parçası ve m makinesine karşılık gelen dışta kalan parçanın ağırlığını gösteren oran ($0 \leq w_{pm} \leq 1$)

$(1 - w_{pm})$ = p parçası ve m makinesine karşılık gelen boşun ağırlığını gösteren oran

Modelde kullanılan indisler:

p: Parça ($p = 1, 2, \dots P$)

m: Makine tipi ($m = 1, 2, \dots M$)

c: Hücre ($c = 1, 2, \dots C$)

r: Üretim planı ($r = 1, 2, \dots R_p$)

Geliştirilen doğrusal olmayan matematiksel modelin amacı, boşlar ve dışta kalan parçaların ağırlıklı toplamının minimizasyonudur. Amaç fonksiyonunda, ilk terim olan $\sum_{pmcr} w_{pm} a_{pm}^r x_{pc}^r (1 - y_{mc})$ dışta kalan parçaların katkısını, ikinci terim olan $\sum_{pmcr} (1 - w_{pm}) (1 - a_{pm}^r) x_{pc}^r y_{mc}$ ise boşların katkısını göstermektedir. Birinci kısıt, her parçanın hücrelerden birine atanmasını ve parça için sadece bir üretim planının seçilmesini sağlamaktadır. İkinci kısıt hücrelere atanan makinelerin sayısının kullanılabilir makinelerin toplam sayısını aşmamasını sağlamaktadır. Üçüncü kısıt ise x ve y değişkenlerinin 0, 1 tamsayı olması koşulunu sağlamaktadır. C, hücrelerin sayısının üst limiti olarak verilmektedir, ancak model uygun hücre sayısını da belirlemektedir.⁴⁷

Doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli, doğrusal kısıtlara ve amaç fonksiyonunda doğrusal olmayan terimlere sahiptir. Model ek değişkenler ve kısıtlarla doğrusal hale getirilebilir. Ek değişkenler aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.⁴⁸

$$\delta_{pmcr}^+ = \begin{cases} 1 & \text{Eğer p parçası c hücresine atanırsa, r üretim planını kullanırsa ve m makinesi için hücreler arasında taşınmaya ihtiyaç duyarsa (dışta kalan parça)} \\ 0 & \text{dd.} \end{cases}$$

$$\delta_{pmcr}^- = \begin{cases} 1 & \text{Eğer p parçası c hücresine atanırsa, r üretim planını kullanırsa ve c hücresine atanmış olan m makinesinde işlem gerektirmezse (boş)} \\ 0 & \text{dd.} \end{cases}$$

Parça ve makineleri eşzamanlı gruplamak için doğrusallaştırılmış matematiksel model:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min} z = \sum_{pmcr} w_{pm} \delta_{pmcr}^+ + \sum_{pmcr} (1 - w_{pm}) \delta_{pmcr}^-$$

⁴⁷ Adil, Rajamani ve Strong, **Ön.ver.**, s. 1370.

⁴⁸ **Aynı**, s. 1371.

Kısıtlar:

$$\begin{aligned}\delta_{pmcr}^+ &\geq x_{pc}^r - y_{mc} \Rightarrow (\forall pmcr \& a_{pm}^r = 1) \\ \delta_{pmcr}^- &\geq x_{pc}^r + y_{mc} - 1 \Rightarrow (\forall pmcr \& a_{pm}^r = 0) \\ \delta_{pmcr}^+, \delta_{pmcr}^- &\geq 0 \Rightarrow \forall pmcr\end{aligned}$$

Her ne kadar δ_{pmcr}^+ ve δ_{pmcr}^- sürekli pozitif değişkenler olarak tanımlansalar da, bu değişkenler birinci ve ikinci kısıtın yapısından dolayı yalnız ikili değerler alırlar.⁴⁹ İzleyen başlık altında bu modelle çözümüleme sürecinin nasıl olacağı anlatılacaktır.

1.2.4. Çözümüleme Yönteminin Belirlenmesi – Tavlama Benzetimi Yöntemi

Parça ve makinelerin sayısının az olduğu problemler için optimal bir çözüm doğrusal matematiksel programlama modelinin çözülmesiyle elde edilebilmektedir. Ancak, bu parça ve makine sayısının çok olduğu büyük boyutlu problemlerde uzun bilgisayar zamanı gerektirmektedir. Bundan dolayı, kabul edilebilir bir zaman süresinde iyi bir çözüm sağlayabilen etkili bir sezgisel algoritmanın geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle analitik olarak çözümlenemeyen, doğrusal olmayan matematiksel programlama modellerini çözmek için sezgisel bir algoritma olan tavlama benzetimi yöntemi geliştirilmiştir.

1.2.4.1. Tavlama Benzetimi Yöntemi'nin Tanıtılması

Tavlama benzetimi yöntemi adını, katıların fiziksel olarak tavllanması sürecine olan benzerliğinden almaktadır. Burada katı ısıtılmakta ve daha sonra atomlarının düzenli bir diziliş yapısına ulaşmasına başka bir ifade ile düzenli bir kristal kafes yapısına ulaşmasına kadar yavaş bir şekilde soğumasına izin

⁴⁹ Aynı, s. 1371.

verilmektedir. Eğer soğuma çizelgesi yeteri kadar yavaşsa, katıyı oluşturan atomların periyodik olarak düzenlenmesi anlamına gelen kristal yapı çok düzenli olmaktadır. Tavlama benzetimi optimizasyon problemlerinde, global minimumu (bütünsel enküçüğü) arama ile termodinamik davranış arasında ilişki kurmaktadır. Bir optimizasyon problemine uygulanan tavlama benzetimi algoritmasının her bir iterasyonunda, iki çözüm (mevcut çözüm ve seçilen yeni çözüm) için oluşturulan amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmaktadır. Gelişme gösteren çözümler her zaman kabul edilmekte, ancak gelişme göstermeyen çözümlerin bir kısmı global en iyiyi aramada yerel en iyiden kurtulmak ümidiyle kabul edilmektedir. Gelişme göstermeyen çözümlerin kabul olasılığı sıcaklık parametresine bağlıdır.⁵⁰

Optimizasyon problemi ile tavlama işlemi arasındaki ilişkide, katının durumları optimizasyon probleminin muhtemel çözümlerine ve bu durumların enerjileri de çözümlere ait amaç fonksiyonu değerlerine karşılık gelmektedir.⁵¹

Fiziksel sistemlerde sıcaklık fiziksel bir anlama sahipken tavlama benzetiminde sıcaklık bir kontrol parametresidir. Tavlama süreci ve optimizasyon problemi arasındaki karşılaştırma Tablo 6'daki gibi özetlenebilir.⁵²

Tablo 6. Tavlama Süreci ve Optimizasyon Problemi Arasındaki Karşılaştırma	
Tavlama Süreci	Optimizasyon Problemi
Sıcaklık	İterasyonların sayısının kontrol edilmesinde kullanılan bir kontrol parametresi
Fiziksel sistemin durumu	Problemin çözümü
Durumun enerjisi	Amaç fonksiyonu değeri
Minimum enerji	Eniyi çözüm

⁵⁰ Fred Glover, **Handbook of Metaheuristics** (Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002), s. 288.

⁵¹ Derviş Karaboğa, **Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları** (Ankara: Atlas – Nobel Yayınları, 2004), s. 28.

⁵² Abduelghani I Abdueilmola, “Modeling of Cellular Manufacturing Systems With Productivity Consideration: A Simulated Annealing Algorithm” (Yayınlanmamış Doktora Tezi, University of Windsor, 2000), s. 72.

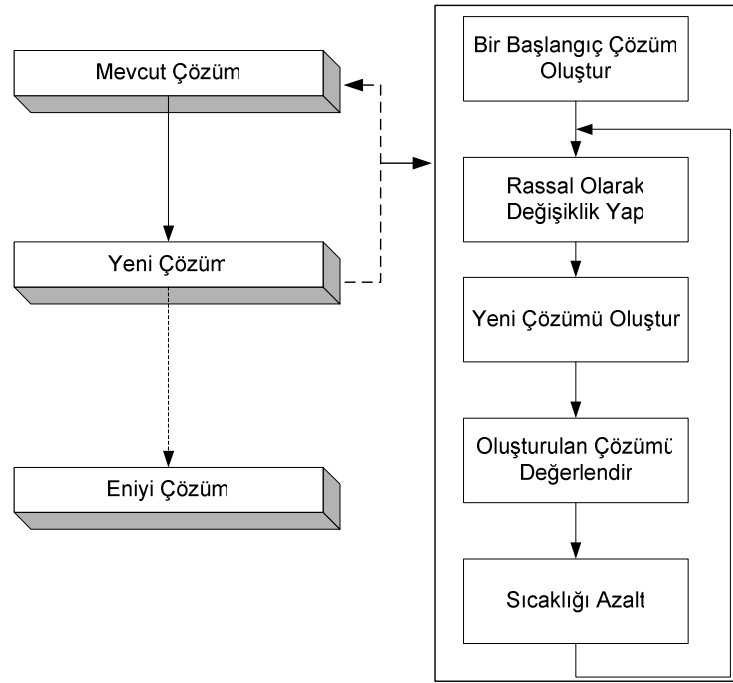
Metropolis ve arkadaşları çalışmalarında tavlama sürecinin benzetimini yapmışlar ve Tablo 7’de gösterilen Metropolis algoritması olarak bilinen algoritmayı tanıtmışlardır.⁵³

Tablo 7. Metropolis Algoritması
M = Denenen hareketlerin sayısı T = Mevcut sıcaklık m = 1'den M'ye kadar Rassal bir değişim oluşturun, örneğin bir atomu hareket ettirin; Enerjideki değişimi değerlendirin, ΔE ; Eğer $\Delta E < 0$ ise kabul edin; Değilse $P = e^{(-\Delta E/T)}$ olasılığı ile kabul edin; Eğer kabul edildiyse konfigürasyonu güncelleyin. Sona erme.

Metropolis algoritmasında, bir katının E_1 enerjisi ile mevcut durumu ve bir değişiklik uygulanarak elde edilen E_2 enerjisi ile yeni durumu vardır. Eğer enerji azalmışsa, yani $\Delta E = (E_2 - E_1) < 0$ ise, yeni durum düşük enerjiye sahiptir ve diğer değişim için bir başlangıç noktası olarak kabul edilebilir. $\Delta E > 0$ olduğu durumda da yeni durum bir olasılık ile kabul edilebilir. Metropolis ve arkadaşları (1953) bu olasılığı Boltzmann dağılımı ile tanımlamışlardır. Boltzmann dağılımında olasılık, T sıcaklığında $e^{(-\Delta E/T)}$ ile bulunur. (0,1) aralığında bir R rassal sayısı oluşturulur ve eğer $R \leq e^{(-\Delta E/T)}$ ise yeni durum kabul edilir. Tavlama benzetimi algoritması çok basittir ve Şekil 9’daki gibi beş adımda tanımlanabilir.⁵⁴

⁵³ Aynı, s.74.

⁵⁴ M. Tim Jones, **AI Application Programming** (Herndon, VA, USA: Charles River Media, 2003), s. 14.



Şeki 9 Tavlama Benzetimi Algoritması

IV Tim Jones **AI Application Programming** (Herndon VA USA Charles River Media 2003)den uyarlandı

Johnson ve arkadaşları (1989), bir minimizasyon problemi için tavlama benzetimi algoritması sürecini Tablo 8’de göstermişlerdir.⁵⁵

⁵⁵ David S. Johnson ve diğerleri, “Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part I, Graph Partitioning,” **Operations Research**. Cilt no 37, Sayı no 6: 865-892, (1989), s. 868.

Tablo 8. Tavlama Benzetimi Algoritması
1. Başlangıç çözüm S 2. Başlangıç sıcaklığı $T > 0$ 3. Donma olana kadar aşağıdaki adımları takip edin. 3.1. İzleyen döngüyü L (sıcaklık uzunluğu) kez gerçekleştirin. 3.1.1. Rassal olarak yeni bir çözüm oluşturun S' 3.1.2. $\Delta = AFD(S') - AFD(S)$. 3.1.3. Eğer $\Delta \leq 0$ ise $S = S'$ olarak atayın. 3.1.4. Eğer $\Delta > 0$ ise $e^{-\Delta/T}$ olasılığı ile $S = S'$ olarak atayın. 3.2. $T_{i+1} = \alpha T_i$ (α azaltma faktörü ile sıcaklığı azaltın) 4. 3. Adıma dönün.

Tavlama benzetiminde problemin çözümüne başlangıç bir çözümde başlanır ve bir dizi hareket (karar değişkenlerinin değerindeki değişimler) ya optimum çözüm elde edilene ya da problem geliştirilemeyerek yerel bir optimumda donmaya başlayana kadar kullanıcının tanımladığı tavlama çizelgesine göre yapılır. Yerel bir optimumda donmadan kaçınmak için, algoritma çözüm uzayında yavaş bir şekilde ilerletilir. Amaç fonksiyonu değerinin kontrollü olarak geliştirilmesi, belirli bir olasılıkla (bu olasılık amaç fonksiyonu değerinde ve mevcut ısı derecesindeki değişim sonucuna bağlıdır ve algoritma ilerlerken düşürülür) gelişme sağlamayan hareketlerin kabul edilmesi ile başarılabilir.⁵⁶

Tavlama benzetimi Kirkpatrick tarafından tanıtıldıktan sonra, çok çeşitli araştırma alanlarında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu çalışma alanları, üretim kontrol problemleri (Kuik ve Salomon, 1990, Aheadi ve Tang, 1991), bilgisayar tasarım problemleri (Chen ve diğerleri, 1989), VLSI tasarım problemleri (Schmitt, 1987), veritabanı sistemi tasarım problemleri (Wolf ve diğerleri, 1989), hemşire çizelgeleme problemleri (Isken ve diğerleri, 1990), zaman çizelgeleme problemleri (Abramson, 1991), araç güzergah problemleri (Alfa ve diğerleri, 1991), atölye problemleri (Van Learhoven ve diğerleri, 1992),

⁵⁶ C. L. Chen, N. A. Cotruvo ve W. Baek, "A Simulated Annealing Solution to the Cell Formation Problem," **International Journal of Production Research**, Cilt no 33, Sayı no 9: 2601-2614, (1995), s. 2603.

yerleşim problemleri (Wilhelm ve Ward, 1987) ve grafik problemleridir (Johnson ve diğerleri, 1989, Chams ve diğerleri, 1987).⁵⁷

Makine ve parçaların gruplandırılmasında, tavlama benzetimi algoritması diğer yöntemlere göre çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Öncelikle bu yeni yöntem diğer yöntemlere göre daha esnektir. Kullanıcıya büyüklüğü kontrol için hücre başına maksimum makine sayısı ile parçaları ve makinelerin gruplandırılabilceği minimum hücre sayısını kullanmaya izin verir. İkinci olarak, tavlama benzetimi yöntemi yalnızca “0” ve “1” rakamlarını kullanmayan parça makine matrisleri ile hücre oluşturma problemlerini çözebilmektedir. Bu yöntemin tanımlayabileceğimiz bir diğer avantajı da çok büyük çaplı problemleri çözme kabiliyetine sahip olmasıdır. Küçük problemler daha önce gösterilen doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli ile çözülebilmektedir. Tavlama benzetimi çözümlerinde, 300 parça (720 üretim planı) ve 50 makine büyüklüğüne kadar test edilen tüm problemler için optimal çözümler bulunmaktadır.⁵⁸

1.2.4.2. Tavlama Benzetimi Yöntemi'nin Algoritması

Parça ve makineleri eşzamanlı gruplayan doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli ile iki tip karar verilmektedir, bunlar: makine atamaları ve parça atamaları (ya da tahsisi) kararlarıdır. Eğer makine ataması bilinirse, parça ve makineleri eşzamanlı gruplamak için doğrusal olmayan matematiksel model, parçaları makine gruplarına atayan (tahsis eden) aşağıdaki modele indirgenebilmektedir.⁵⁹

Amaç fonksiyonu:

$$Minz_1 = \sum_{pmcr} B_{pmcr} x_{pc}^r$$

⁵⁷ Ayni, s. 2604.

⁵⁸ C. L. Chen, N. A. Cotruvo ve W. Baek, **Ön.ver.**, s. 2613.

⁵⁹ Adil, Rajamani ve Strong, **Ön.ver.**, s. 1375.

$$\text{Burada, } B_{pmcr} = w_{pm} a_{pm}^r (1 - Y_{mc}) + (1 - w_{pm}) (1 - a_{pm}^r) Y_{mc}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{cr} x_{pc}^r = 1 \Rightarrow \forall p$$

$$x_{pc}^r \in \{0,1\}$$

Burada x_{pc}^r değişkeni bağımsız olarak her bir $p = 1, 2, \dots, P$ için çözülebilmektedir. Her bir p parçası için bu problemin çözümlenmesinde öncelikle $x_{pc}^{r^*} = 1$ olarak, $B_{pc}^{r^*} = \min_{cr} \sum_m B_{pmcr}$ ve kalan $x_{pc}^r (c \neq c^*, r \neq r^*)$ ise 0 olarak atanmaktadır.

Tavlama benzetiminde sadece makine ataması karışıktır. Herhangi bir makine ataması için parça tahsisi, atama alt probleminin çözümüyle elde edilebilmektedir. Bu algoritmadaki adımlar aşağıda açıklanmaktadır.⁶⁰

- Öncelikle hücrelerin sayısı C , toplam makine sayısının bir fazlası olarak belirlenmektedir. Başlangıç makine ataması ayrı hücrelere her bir makinenin yerleştirilmesiyle elde edilir. Son hücre ise boştur. Bununla birlikte C 'nin değeri toplam makine sayısının bir fazlası olarak belirlense de, model uygun hücre sayısını seçmektedir.
- Elde edilen başlangıç makine ataması için, başlangıç parça tahsisi atama alt probleminin çözülmesiyle elde edilmektedir. Böylece, başlangıç çözüme (parça aileleri ve makine grupları) ve amaç fonksiyonu değerine ulaşılmış olmaktadır.
- Her ilerleyen adımda, bir makine, yeni makine ataması elde etmek için mevcut hücresinden başka bir hücreye taşınmaktadır. Taşınacak olan makine ve bu makinenin taşınacağı hücre rassal

⁶⁰ Aynı, s. 1375.

olarak seçilmektedir. Bunu yaparken yeni hücrenin makinenin aynısını içermemesi gerekmektedir.

- Daha sonra bu yeni makine ataması için parça tahsisi yapılmakta ve amaç fonksiyonunun değeri hesaplanmaktadır.
- Oluşturulan çözüm (yeni makine grupları ve parça aileleri) eğer amaç fonksiyonu değeri geliştirilmişse kabul edilmektedir. Eğer amaç fonksiyonu değeri gelişmemişse, çözüm soğutma derecesine bağlı bir olasılık değeri ile kabul edilmektedir, ayrıca soğutma derecesi başlangıçta oluşturulan çözümlerin büyük oranda kabul edilmesine izin verecek biçimde belirlenmektedir.
- Daha sonra soğutma derecesi, kabul olasılığını azaltmak için değiştirilmektedir. Bu, algoritmada oluşturulan çözüm bir öncekine göre uygun olmasa da, başlangıç adımlarında çözümün yerel optimumdan uzaklaşmasına imkan tanınmaktadır. Her bir soğutma derecesinde, pek çok yer değişimi denenmekte ve algoritma daha önceden tanımlanan koşullarla karşılaştığında durmaktadır.

Tavlama benzetimi algoritmasının adımları aşağıda gösterildiği gibidir.⁶¹

[0] Başlangıç

0.1. Tavlama parametrelerini tanımla.

- T_0 : Başlangıç derecesi
 AT_{min} : Her derecedeki kabul edilen minimum değişme
 α : Azaltma faktörü
 i_{max} : Maksimum iterasyon sayısı
 R_f : Son kabul oranı

0.2. Başlangıç iterasyon sayacı: $i = 0$

0.3. Başlangıç makine atamasını oluşturun ve tahsis alt problemini çözerek parçaları atayın (SOL^0 (parça aileleri ve makine grupları), OBJ^0 (amaç fonksiyonu değeri) değerlerini elde edin). Burada atama alt problemi atama algoritması ile çözülebilir.

⁶¹ Aynı, s.1376.

[1] 1.7. adımındaki koşullarla karşılaşılan kadar 1.1. – 1.7. adımlarındaki döngüyü yürütün.

1.1. $\ell = 0, AT = 0$

1.2. İç döngü için başlangıç çözüm, $SOL_0^i = SOL^i, OBJ_0^i = OBJ^i$

1.3. 1.3.5. adımındaki koşullarla karşılaşılan kadar 1.3.1. – 1.3.5. adımlarındaki döngüyü yürütün.

1.3.1. $\ell = \ell + 1$

1.3.2. Makine atamalarının değiştirilmesiyle yeni bir çözüm oluşturun ve yeni makine ataması için parça tahsisini elde edin (SOL_ℓ^i, OBJ_ℓ^i) .

1.3.3. $\delta = OBJ_\ell^i - OBJ_{\ell-1}^i$

1.3.4. Eğer $\delta \leq 0$ ya da $rasal(0,1) \leq e^{-1\delta/T_i}$ ise,

➤ SOL_ℓ^i, OBJ_ℓ^i kabul edilir.

➤ $AT = AT + 1$

Değilse,

➤ Çözüm reddedilir. $SOL_\ell^i = SOL_{\ell-1}^i, OBJ_\ell^i = OBJ_{\ell-1}^i$

1.3.5. Eğer aşağıdaki koşullardan birisi gerçekleşirse,

➤ $AT \geq AT_{\min}$ ya da

➤ $\ell \geq M1 \times M1$ ($M1$ = makinelerin sayısı), L_i (Markov zincirinin uzunluğu) = ℓ olur ve döngüye son verilir ve 1.4. adımına geçilir.

Yukarıdaki koşullar sağlanmazsa; 1.3.1. adımına dönülür ve devam edilir.

1.4. $i = i + 1$

1.5. $SOL^i = SOL_{L_i-1}^i, OBJ^i = OBJ_{L_i-1}^{i-1}$

1.6. Soğutma derecesini azaltın, $T_i = \alpha T_{i-1}$

1.7. Eğer aşağıdaki koşullardan birisi gerçekleşirse,

➤ $i \geq i_{\max}$ ya da

➤ Kabul oranı $(AT/L_i) \leq R_f$ ya da

- Son 20 iterasyon için amaç değeri aynı kalmışsa,
Döngüye son verin ve 2. adıma gidin.

Yukarıdaki koşullar sağlanmazsa 1.1. adımına gidin ve devam edin.

[2] En son kabul edilen çözümü yazdırın ve algoritmayı sonlandırın.

Oluşturulan makine atamalarına parçaların tahsisi için atama algoritması kullanılır. Atama algoritmasının adımları aşağıda gösterildiği gibidir:⁶²

[1]. Giriş

w, P, M, C ve $\{a_{pm}\}$ matrisini oku.

[2] Başlangıç ataması

Başlangıç bir çözüm olarak, her makinenin bağımsız bir hücreye atandığını varsayalım. C ($C = M+1$) hücresi, hücre dışında olacak parçalar için boş kalmıştır. Örneğin makine 1, hücre 1'e atanır.

[3]. Tahsis

3.1. $p = 1$ den P ye kadar,

(a) $OP_p = p$ parçası için gerekli makinelerin sayısı. Yani parça makine matrisinin p satırındaki "1" lerin sayısı.

(b) $c = 1$ den C ye kadar,

(i) $NM_c = c$ hücresine atanan makinelerin sayısı

(ii) $UP_{pc} =$ parça makine matrisinde, p satırı ile c hücresine atanan tüm makinelerin yer aldığı sütunların kesişimindeki "1" lerin sayısı.

(iii)

$$ep_{pc} = OP_p - UP_{pc} \dots vp_{pc} = NM_c - UP_{pc} \dots B_{pc} = w^* ep_{pc} + (1-w)vp_{pc}$$

(c) B_{pc} değeri minimum olan c (c^*) hücresine p parçasını ata,

3.2. Amaç fonksiyonunun değeri $= \sum_p B_{pc^*}$

[4]. Bitirme

Sonuçları yazdır.

⁶² Gajendra Kumar Adil, Divakar Rajamani ve Doug Strong, "Assignment Allocation and Simulated Annealing Algorithms for Cell Formation," **IIE Transactions**. Cilt no 29, Sayı no 1: 53-67, (1997), s. 56.

1.2.4.3. Tavlama Benzetimi Algoritması İçin Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Tavlama benzetiminde, parametre değerleri için çok çeşitli seçimler yapılabilmektedir. Bundan dolayı algoritmayı optimizasyon problemlerine uygulama aşamasında çeşitli seçeneklerle ilgili kararlar alınmaktadır. Bu seçenekler iki gruba ayrılabilir: probleme bağlı yani problemle ilgili özel seçenekler ve algoritmanın kendisi ile ilgili seçenekler. Bu seçenekler Tablo 9'da gösterilmektedir.⁶³ Tavlama benzetiminin performansı büyük ölçüde algoritmaya ait seçeneklerde belirtilen dört parametreye bağlıdır.

Tablo 9. Tavlama Benzetimini Uygulamada Gerçekleştirilecek Olan Seçenekler
Probleme Özel Seçenekler 1. Çözüm nedir? 2. Yeni çözüm nedir? 3. Çözümün amaç fonksiyonu değeri nedir? 4. Başlangıç çözümü nasıl belirleriz?
Algoritmaya Ait Seçenekler 1. Başlangıç sıcaklığı nasıl belirleriz? 2. α azaltma faktörünü nasıl belirleriz? 3. Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek iterasyon sayısını nasıl belirleriz? 4. Algoritmanın ne zaman duracağını nasıl biliriz?

1.2.4.3.1. Başlangıç Sıcaklığının Seçimi

Başlangıç sıcaklık değeri hemen hemen tüm değişimleri kabul edecek şekilde belirlenir başka bir ifade ile $e^{(-\Delta E / T_0)} \cong 1$ olmalıdır. Başlangıç sıcaklık değerinin seçimi için Kirkpatrick ve arkadaşları şu kuralı önermişlerdir: Başlangıç sıcaklık değerini büyük bir değer olarak seçin ve pek çok değişiklik gerçekleştirin. Eğer kabul oranı χ (kabul edilen değişikliklerin önerilen değişikliklere bölünmesi ile bulunur) daha önce belirlenen χ_0 değerinden küçükse, başlangıç sıcaklık değeri iki katına çıkarılır. Bu, süreç kabul oranı χ , χ_0 değerini aşana kadar sürdürülür. Söz konusu kural Johnson ve arkadaşları

⁶³ Johnson, **Ön.ver.**, s. 869.

tarafından geliştirilmiştir. Buna göre, başlangıç sıcaklık değeri, gerçekleştirilen rassal değişiklikler için amaç fonksiyonu değerindeki artışın ortalamasının hesaplanmasıyla belirlenebilir. Bu ifadeyi formüle edersek;⁶⁴

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} \text{ 'dir.}$$

1.2.4.3.2. Azaltma Faktörünün Seçimi

$T_{i+1} = \alpha T_i \rightarrow i = 0, 1, 2, \dots$, sıklıkla kullanılan sıcaklık derecesini azaltma kuralıdır. Burada yer alan α azaltma faktörü (0,1) aralığında sabit bir sayıdır ve 1'e yakındır. Genellikle de 0,95 ya da 0,99 kullanılır.

1.2.4.3.3. Her Sıcaklık Derecesinde Gerçekleştirilecek İterasyon Sayısının Belirlenmesi

Her sıcaklık derecesinde gerçekleştirilecek yeni çözümlerin sayısı sistemdeki makinelerin sayısı ile büyüklük faktörü olarak adlandırılan sabit bir sayının çarpılması ile belirlenir. İterasyon sayısının artmasıyla elde edilen yeni çözüm sayısının artması sağlanır. Böylece global çözümü bulma olasılığı yükselir ancak bilgisayarın çalışma süresi de artar. Farklı büyüklük faktörlerinin etkisini belirlemek için algoritma belirlenen değerler için çalıştırılıp değişimler gözlenmektedir. Büyüklük faktörünün değerlerinin bir önceki değer iki katı olacak şekilde olduğu varsayılmaktadır. Büyüklük faktörü değerleri 1, 2, 4, 8, 16,... olarak belirlenebilmektedir.⁶⁵

1.2.4.3.4. Durma Koşullarının Belirlenmesi

Literatürde tavlama benzetimi algoritmasını durdurmada kullanılan çok çeşitli kriterler mevcuttur. Bunlar; amaç fonksiyonu değeri belli sayıdaki

⁶⁴ P. J. M. van Laarhoven ve E. H. L. Aarts, **Simulated Annealing: Theory and Applications**. (Netherlands: D. Riedel Publishing Company, 1987), s. 59.

⁶⁵ Abduelmola, **Ön.ver.**, s. 83.

iterasyonda değişmemiş aynı kalmışsa, iterasyonların sayısı belirlenen maksimum iterasyon sayısını aşmışsa, kabul oranı verilen son kabul oranından küçükse ve tanımlanan son sıcaklık değerine ulaşılmışsa algoritma durdurulur.⁶⁶

1.3. Oluşturulacak Hücresel Üretim Sistemi'nin Değerlendirilmesi

Oluşturulan hücresel üretim sistemini değerlendirmek için ya da başka bir üretim sistemi ile karşılaştırmak için benzetim yöntemi kullanılabilir. Neden benzetim yönteminin kullanıldığına geçilmeden önce sistemler ve sistemlerin sınıflandırılması ile ilgili bilgiler verilecektir.

Sistem bir amaç doğrultusunda bir araya getirilmiş, birbirleri ile etkileşim içinde olan öğeler dizisidir. Örnek olarak otomobil imalatı yapan bir üretim sistemi verilebilir. Makineler, parçalar ve çalışanlar yüksek kaliteli araçlar üretmek için bir araya gelmişlerdir. Sistemin durumu ise çalışmanın amacına göre belirli bir zamanda bir sistemi tanımlamak için gerekli olan değişkenlerin alacağı değerler şeklinde tanımlanabilmektedir.⁶⁷

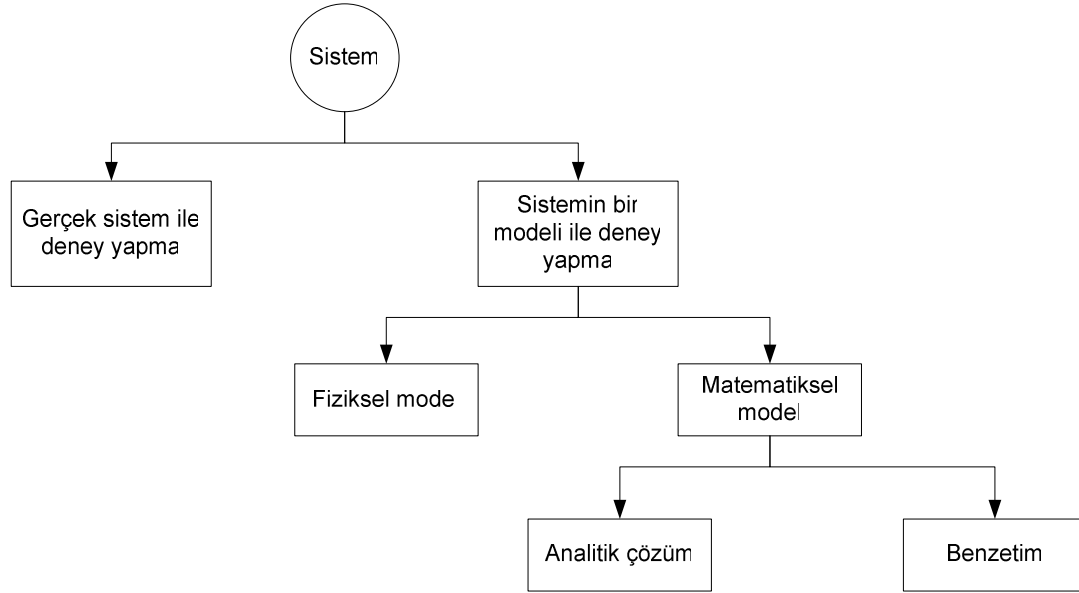
Sistemler kesikli ve sürekli olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Kesikli sistemde sistemin durum değişkenleri zaman içinde belli noktalarda yalnız kesikli değerler alabilmektedirler. Bir banka kesikli sisteme örnek olarak verilebilir, burada bankadaki müşteri sayısı olarak belirlenen durum değişkeni değeri yalnızca müşteri bankaya geldiğinde ya da işlemini tamamlayıp bankadan ayrıldığında değişmektedir. Sürekli sistemler de ise durum değişkeni değeri zamana göre sürekli değişir. Bu sistemlere örnek olarak bir barajdaki su seviyesi verilebilir.⁶⁸

⁶⁶ Nanua Singh ve Divakar Rajamani, **Ön.ver.**, s. 131.

⁶⁷ Averill M. Law ve W. David Kelton, **Simulation Modeling and Analysis**. (Second Edition. USA: McGraw – Hill, Inc., 1991), s. 3.

⁶⁸ Jerry Banks, John S. Carson, II, Barry L. Nelson ve David M. Nicol, **Discrete – Event System Simulation** (Third Edition. New Jersey: Prentice - Hall, Inc., 2001), s. 12.

Sistemlerin bileşenleri arasındaki ilişkileri belirlemek ya da yeni koşullar altında performanslarını tahmin etmek için sistemler üzerinde çeşitli çalışmalar yapmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıdaki şekilde sistemler üzerinde gerçekleştirilen farklı çalışma yolları gösterilmektedir.⁶⁹



Şekil 10 Sistemler Üzerindeki Farklı Çalışma Yolları

Averill M Law ve W David Kelton **Simulation Modeling and Analysis** (USA McGraw – Hill Inc 1991)den uyarlandı

Gerçek sistem ile deney yapma – Sistemin bir modeli ile deney yapma: Eğer fiziksel olarak sistemi değiştirmek ve sonra yeni koşullar altında çalıştırmak mümkün ise, bu yapılmak istenen bir durumdur. Ancak, çok nadir olarak bunu yapmak uygundur, çünkü deney çok maliyetli ya da sisteme çok hasar verici olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, gerçek sistemin yerine geçen ve sistemi temsil eden bir model oluşturmaya gereksinim duyulmaktadır.⁷⁰

⁶⁹ Law ve Kelton, **Ön.ver.**, s. 4.

⁷⁰ Aynı, s. 5.

Fiziksel model – Matematiksel model: Pilotların eğitiminde kullanılan uçak simülatörleri ya da mimarların yaptığı bina maketleri fiziksel modellere örnek olarak verilebilir. Fiziksel modeller araştırılacak sistemin gerçek görünümündedir ancak nicel karar vermede kullanılmamaktadırlar. Nicel karar vermede daha çok matematiksel modeller kullanılmaktadır. Matematiksel modeller gerçek durumu semboller ve matematiksel ifadelerle temsil etmektedirler.⁷¹

Analitik çözüm – Benzetim: Bir matematiksel modelin analitik çözümü bulunabiliyorsa bu her zaman benzetime tercih edilmektedir. Ancak, analitik çözüm bulunamadığında benzetim yöntemi kullanılmaktadır.⁷²

Matematiksel gösterimin katılığı, sistemlerde karşılaşılan problemleri yeterince tanımlamayı olanaksız hale getirebilmektedir. Bunun tersine, bir model uygun formüle edilse bile, çok karmaşık çözüm algoritmalarıyla uğraşmak zorunda kalınması gerekebilmektedir. Benzetim böyle karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılabilecek uygun yaklaşımlardan biridir. Benzetimle modelleme, gerçek bir sistemi gözlemlemede kullanılan en iyi yöntemdir. Benzetim gerçek sistemi küçük birimler halinde incelemekte ve bu birimleri birlikte hareket ettirecek mantıksal ilişkileri kullanarak sistemin mevcut davranışını taklit etmektedir. Bir benzetim modelinin geliştirilmesi genellikle zaman ve kaynak açısından maliyet gerektirmektedir. Ayrıca, bazı benzetim modellerinin yürütülmesi sırasında en hızlı bilgisayarlar bile yavaş kalabilmektedir.⁷³

Sonuç olarak çeşitli disiplinlerde bilimsel yöntemi uygulayarak problemleri çözmek, böylece de yönetsel kararlara esas göstergeleri elde etmek her zaman mümkün olmayabilmektedir. Matematiksel modeller insan – makine sistemlerinde karşılaşılan problemleri formüle etmek veya çözmek için yeterli

⁷¹ Ahmet Öztürk, **Yöneylem Araştırması** (Genişletilmiş 5. Basım. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları, 1997), s. 10.

⁷² Law ve Kelton, **Ön.ver.**, s. 5.

⁷³ Hamdy A. Taha, **Yöneylem Araştırması**. Çeviren: Ş. Alp Baray ve Şakir Esnaf (Birinci Basım. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2000). s. 4.

olmayabilir. Bu durumda eylem seçeneklerinin sonuçlarını belirleyebilmek için benzetim modeli yoluyla deneyler yapılması söz konusu olmaktadır.

1.3.1. Benzetim Yöntemi'nin Tanıtılması

Benzetim, insan – makine sistemlerinin davranışını gösteren matematiksel veya mantıksal modeller kullanarak bilgisayar aracılığıyla sistem üzerinde deneyler yapmaya yarayan sayısal yöntemlerdir şeklinde tanımlanabilmektedir. Bu tanımda benzetim ile ilgili aşağıdaki özellikler sıralanmaktadır.⁷⁴

- Benzetim bir deneysel problem çözme yöntemidir.
- Benzetim sistem tasarımı ve sistem çözümleme çalışmalarında ortaya çıkan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.
- Benzetim çözümlemesine, ele alınan sisteme ilişkin problemler analitik yöntemlerle çözülemediğinde başvurulmaktadır.

Benzetim çözümlemesinde genel yöntem Şekil 11'deki akış şemasında gösterildiği gibidir. Her araştırma, problemi ve çalışmanın amaçlarını açıkça ortaya koyan bir cümle ile başlamaktadır. Problemin yanlış tanımlanması bütün çalışmaların ziyan olmasına neden olabilmektedir. Bu adımdan sonra veriler ve bilgiler sistemden toplanmaktadır ve modelde kullanılacak rassal değişkenler için bu veriler derlenip işlenerek olasılık dağılımları belirlenmektedir. Veriler bir yandan toplanırken sistemi temsil edecek modelde oluşturulmaya başlanmaktadır. Oluşturulan model daha sonra bir bilgisayar dili ile kodlanmaktadır. Model kodlandıktan sonra model mantığının doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmekte, eğer bir yanlışlık varsa geri dönülüp düzeltilmektedir. Daha sonra model çalıştırılıp elde edilen sonuçlara göre modelin gerçeği yansıtıp yansıtmadığı belirlenmektedir. Bu adımda da olası bir yanlışlık durumunda yine modele geri dönülüp düzeltme yapılmaktadır. Model gerçek sistemi yansıtıyorsa, asıl çalıştırmalar yapıp elde edilen çıktılar analiz

⁷⁴ Ali Ekrem Özkul, **Benzetim Ders Notları**, Eskişehir: Kasım 2001. s. 5.

edilmektedir. Yapılan çalıştırmalar için başlangıç koşulları, ısınma periyodunun uzunluğu, benzetim çalıştırmalarının uzunluğu ve bağımsız kaç çalıştırım yapılması gerektiği gibi parametreler bu adımda belirlenmektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre ek çalıştırım gerekiyorsa yapılmakta ve elde edilen sonuçlar istatistiksel testler kullanılarak incelenmekte ve raporlanmaktadır.⁷⁵



Şekil 11 Bir Benzetim Çalışmasının Adımları

Averill M Law ve W David Kelton **Simulation Modeling and Analysis** (New York McGraw – Hil Inc 199') den uyarlandı

⁷⁵ Law ve Kelton, **Ön.ver.**, s. 107.

1.3.2. Benzetim Yöntemi'nin Üstünlük ve Sakıncaları

Pek çok durumun analizi için benzetim uygun bir yöntem olsa da, bu yöntem uygulanmadan önce üstünlük ve sakıncaları göz önünde bulundurulmalıdır. Benzetimin başlıca üstünlükleri ve sakıncaları aşağıda belirtilmektedir.⁷⁶

Üstünlükleri:

- Model bir kez kurulduktan sonra, model önerilen tasarımlar ya da politikaların analizi için tekrar tekrar kullanılabilir.
- Önerilen sistemde girdi verilerinin tam olmadığı durumlarda kullanılabilir.
- Gerçek sisteme ilişkin veriler benzetim modeli yoluyla çok daha kolay ve ucuz elde edilmektedir.
- Benzetim yönteminin uygulanması analitik yöntemlere göre daha kolay olmaktadır.
- Analitik modellerin matematiksel olarak kolay uygulanabilir olması için bazı basitleştirici varsayımların yapılması gereklidir, benzetim modelleri bu tür kısıtlamalara sahip değildir. Analitik modellerle sınırlı sayıda performans ölçüsü hesaplanabilirken, benzetim modelleri ile oluşturulan veriler ile akla uygun her performans ölçüsü tahmin edilebilmektedir.

Sakıncaları:

- Bilgisayarda benzetim modellerinin kurulması ve doğrulanması çok masraflıdır ve çok zaman gerektirebilmektedir.
- Benzetim modellerinin bilgisayarda fazla sayıda çalıştırılması için çok zaman gerekebilmektedir.

⁷⁶ Jerry Banks ve John S. Carson, II, **Discrete – Event System Simulation** (New Jersey: Prentice - Hall, Inc., 1984), s. 4.

- Analitik yöntemlerin yeterli olduğu durumlarda da zaman zaman benzetim kullanılmaktadır. Araştırmacılar benzetim yöntemini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin uygun olduğu durumlarda da kullanmaya yönelmektedirler.

1.3.3. Benzetim Yöntemi'nde Model Türleri

Benzetim modelleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlar:⁷⁷

- Statik benzetim modelleri: Bu benzetim modellerine Monte Carlo benzetimi de denilmektedir. Burada model, sistemi belli bir zaman noktasında temsil etmektedir.
- Dinamik benzetim modelleri: Sistemi zaman içindeki değişimine göre temsil etmektedir. 09.00 – 16.00 saatleri arasında yapılan bir banka benzetimi dinamik benzetim modeline bir örnektir.
- Deterministik benzetim modelleri: Bu benzetim modelleri rassal değişkenler içermemektedir. Burada bilinen girdi setlerinden bir çıktı seti elde edilmektedir.
- Stokastik benzetim modelleri: Bu benzetim modelleri bir ya da daha fazla rassal değişken içermektedir. Girdilerin rassal olması çıktıların da rassal olmasına neden olmaktadır yani modelin performans gösterge değerleri birer tahmin değeridir.
- Kesikli benzetim modeli: Sistemin durum değişkenleri zamanın belli noktalarında değişiyorsa kesikli benzetim modeli kullanılmaktadır.
- Sürekli benzetim modeli: Sistemin durum değişkenleri zamana göre sürekli olarak değişiyorsa sürekli benzetim modeli kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra benzetim modelleri hem kesikli hem de sürekli olarak çalışmanın amacına ve sistemin özelliğine göre kullanılabilir.

⁷⁷ Aynı, s. 13.

Elde edilen çıktıların analizine göre benzetim bitimli ve bitimsiz olarak da ikiye ayrılmaktadır. Bitimli benzetimde sistemin benzetimini sonlandıran doğal bir kapanış olayı bulunmaktadır, örneğin bir bankanın benzetiminde bankanın kapanış saati benzetimi sonlandıran doğal bir kapanış olayıdır. Bitimsiz ya da durağan durum benzetiminde doğal bir kapanış olayı yoktur ve sistem sürekli olarak çalışmaktadır.⁷⁸

1.3.4. Benzetim Yöntemi'nde Verilerin Analizi

Benzetimde ilk olarak, bir sistemin benzetim modeli oluşturulurken kullanılan sisteme ilişkin girdi verilerinin analizi, model kurulduktan sonra benzetim modelinin sistemi temsil edip etmediği ile ilgili olarak modelin gerçekleşmesi ve doğrulanması ile modelin çalıştırılması sonucunda elde edilen çıktıların analizi yapılmaktadır.

1.3.4.1. Girdi Verilerinin Analizi

Bir kuyruk sisteminin benzetiminde, girdi verileri gelişlerarası süre ve servis süresinin dağılımlarıdır. Stok sisteminin benzetimi için ise girdi verileri talep ve teslim zamanlarının dağılımı olmaktadır. Gerçek sistemlerin benzetim uygulamalarında, girdi verileri için uygun dağılımların belirlenmesi çok önemlidir. Girdi verileri için, bu verileri temsil edecek bir dağılımın belirlenmesinde dört adım bulunmaktadır. Bunlar:⁷⁹

- Öncelikle ilgilenilen gerçek sistemden veriler toplanmaktadır. Ancak bazı durumlarda örneğin kanunlar ve kurallar veri toplamayı yasakladığından ya da girdi süreci henüz mevcut olmadığından veriler toplanamamaktadır. Bu gibi durumlarda uzman görüşlerine başvurulmaktadır.

⁷⁸ Law ve Kelton, **Ön.ver.**, s. 529.

⁷⁹ Banks, Carson, Nelson ve Nicol, **Ön.ver.**, s. 323.

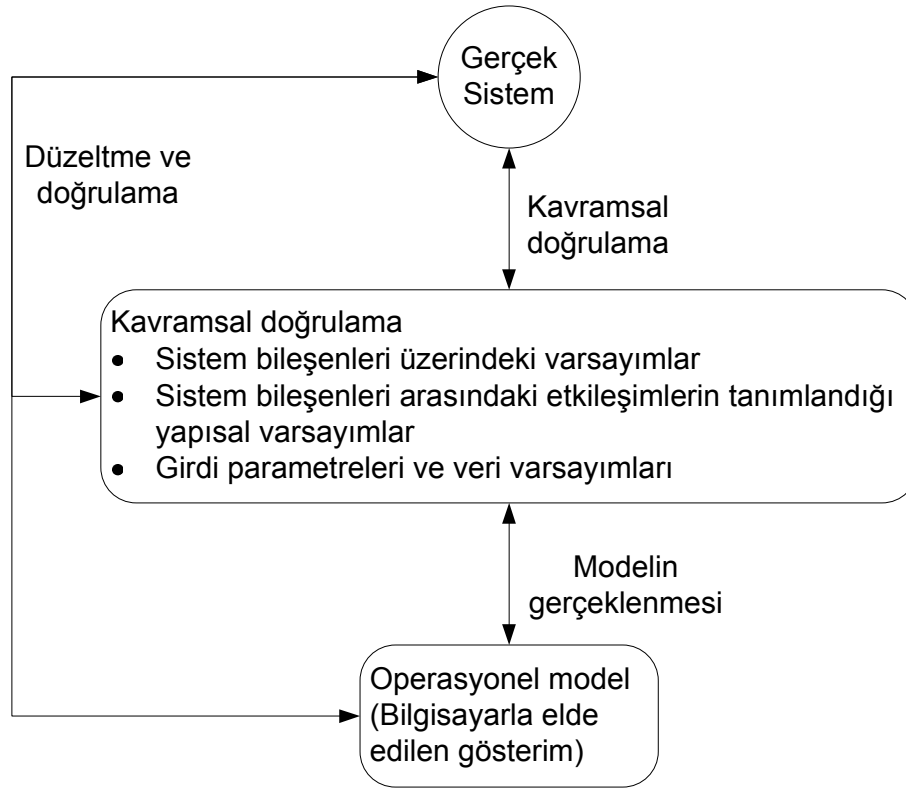
- Daha sonra girdi sürecini temsil etmek için olasılık dağılımı belirlenmektedir. Bu adım verilerin frekans dağılımı ya da histogramının çizilmesiyle başlamaktadır. Frekans dağılımı temel alınarak dağılımlar arasından birisi seçilmektedir.
- Daha sonra seçilen dağılım için verilerden dağılım parametreleri tahmin edilmektedir.
- En son olarak seçilen dağılım için iyi uyum testleri yapılarak istatistiksel olarak dağılımın uygun olup olmadığı belirlenmektedir. İyi uyum testleri olarak χ^2 ve Kolmogorov – Smirnov testleri kullanılmaktadır. Testler sonucunda seçilen dağılımın veriler için iyi bir tahmin olmadığı belirlenirse ikinci adıma geri dönülüp başka bir dağılım seçilmekte ve adımlar tekrarlanmaktadır. Buna rağmen yine uygun bir dağılım bulunamaz ise gözlemsel sıklık dağılımı kullanılmaktadır.

1.3.4.2. Benzetim Modellerinin Gerçeklenmesi ve Doğrulanması

Gerçekleme, modelin doğru kurulmasıyla ilgilidir. Bir sistemin kavramsal modeli ile bilgisayar dili ile kodlanmış gösterimini karşılaştırmada kullanılmaktadır. Burada cevabı aranan sorular: “Model bilgisayara doğru bir şekilde uyarlanmış mıdır?” ve “Modelin mantıksal yapısı ve girdi parametreleri doğru bir şekilde ifade edilmiş midir?” şeklindedir.

Doğrulama ise, doğru modelin kurulmasıyla ilgilidir. Burada sistemin bilgisayarda kurulan modelinin gerçek sistemi doğru bir şekilde temsil edip etmediği belirlenmeye çalışılmaktadır. Bir başka deyişle modelin kalibrasyonu aşamalı bir süreç takip edilerek yapılmaktadır. Bir modelin oluşturulması, gerçekleşmesi ve doğrulanması arasındaki ilişki aşağıda Şekil 12’de gösterilmektedir.⁸⁰

⁸⁰ Aynı, s. 367.



Şekil 12. Model Oluşturma, Gerçekleme ve Doğrulama

Jerry Banks ve diğerleri, **Discrete - Event System Simulation**
(New Jersey: Prentice – Hall, Inc. 2001)den uyarlandı.

1.3.4.3. Benzetim Yöntemi'nde Çıktı Analizi

Çıktı analizi benzetim yoluyla oluşturulan verilerin incelenmesini içermektedir. Burada amaç bir sistemin performansını tahmin etmek ya da iki ya da daha fazla alternatif sistem tasarımlarının performanslarını karşılaştırmaktır.

1.3.4.3.1. İki Sistem Tasarımının Karşılaştırılması

İki sistem tasarımının karşılaştırılmasında bağımsız örneklem ve eşleştirilmiş örneklem testleri kullanılmaktadır. Eşleştirilmiş örneklemde, her iki alternatif sistem tasarımının benzetiminde aynı rassal sayılar kullanılmaktadır.

İki sistemi karşılaştırırken her model için ısınma periyodu ve çalıştırım uzunluğu ile tekrar sayısı değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. İki sistem için benzetim çıktı verileri ve istatistikler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.⁸¹

Tablo 10. İki Sistem İçin Benzetim Çıktı Verileri ve İstatistikler						
Sistem	Tekrar				Örneklem Ortalaması	Örneklem Varyansı
	1	2	...	n ₁ : 1. sistemin tekrar sayısı n ₂ : 2. sistemin tekrar sayısı		
1	Y ₁₁	Y ₂₁	...	Y _{n₁1}	$\bar{Y}_{.1}$	S ₁ ²
2	Y ₁₂	Y ₂₂	...	Y _{n₂2}	$\bar{Y}_{.2}$	S ₂ ²

İki sistem arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı t ve z testleri ile yapılabildiği gibi güven aralığının belirlenmesi ile de yapılabilir. Güven aralığının belirlenebilmesi için iki sistemin ana kütle performans ölçüsü ortalamaları arasındaki fark ($\mu_1 - \mu_2$) için güven aralığı;

$$(\bar{Y}_{.1} - \bar{Y}_{.2}) \pm t_{krit.değ.} \hat{\sigma}_{\bar{Y}_{.1} - \bar{Y}_{.2}}$$

ile belirlenir. Burada $\bar{Y}_{.1}$ 1. sisteme ilişkin yapılan n₁ tekrar sonucu elde edilen performans ölçülerinin örneklem ortalamasıdır ve,

$$\bar{Y}_{.1} = \frac{\sum_{n=1}^{n_1} Y_{n_1 1}}{n_1}$$

formülü ile hesaplanır. $\bar{Y}_{.2}$ ise 2. sisteme ilişkin yapılan n₂ tekrar sonucu elde edilen performans ölçülerinin örneklem ortalamasıdır ve,

$$\bar{Y}_{.2} = \frac{\sum_{n=1}^{n_2} Y_{n_2 2}}{n_2}$$

⁸¹ Aynı, s. 454.

formülü ile hesaplanır.

S_1^2 1. sisteme ilişkin yapılan n_1 tekrar sonucu elde edilen performans ölçülerinin örneklem varyansdır ve,

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{n=1}^{n_1} (Y_{n_1,1} - \bar{Y}_{.1})^2$$

formülü ile hesaplanır. S_2^2 2. sisteme ilişkin yapılan n_2 tekrar sonucu elde edilen performans ölçülerinin örneklem varyansdır ve,

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{n=1}^{n_2} (Y_{n_2,2} - \bar{Y}_{.2})^2$$

formülü ile hesaplanır.

İki sistemin karşılaştırılmasında kullanılan bağımsız örneklem ve eşleştirilmiş örneklemle ilgili t ve z test süreçleri ile ilgili bilgiler, kullanılan formüller Tablo 11 ve Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 11. Bağımsız İki Örneklem Ortalamasının Karşılaştırılması İle İlgili Bilgiler		
a. Varyans Bilindiği Durumda Ortalamalarla İlgili Testler		
Hipotezler	Test İstatistiği	Reddetme Kriteri
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$	$Z_0 = \frac{\bar{Y}_{.1} - \bar{Y}_{.2}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$	$ Z_0 > Z_{\alpha/2}$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 < \mu_2$		$Z_0 < -Z_{\alpha}$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 > \mu_2$		$Z_0 > Z_{\alpha}$

b. Varyans Bilinmediği Durumda Ortalamalarla İlgili Testler		
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $t_0 = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$ $\nu = n_1 + n_2 - 2$	$ t_0 > t_{\alpha/2; \nu}$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ $t_0 = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$	$t_0 < -t_{\alpha; \nu}$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 > \mu_2$	$\nu = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 + 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 + 1}} - 2$	$t_0 > t_{\alpha; \nu}$

Tablo 12. Eşleştirilmiş Örneklem Ortalamalarının Karşılaştırılması ile İlgili Bilgiler		
Hipotezler	Test İstatistiği	Reddetme Kriteri
$H_0 : \mu_d = 0$ $H_1 : \mu_d \neq 0$	$d_n = Y_{n_1 1} - Y_{n_2 2}$ $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n d_n$	$ t_0 > t_{\alpha/2; \nu}$
$H_0 : \mu_d = 0$ $H_1 : \mu_d < 0$	$S_d^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{n=1}^n d_n^2 - n\bar{d}^2 \right)$	$t_0 < -t_{\alpha; \nu}$
$H_0 : \mu_d = 0$ $H_1 : \mu_d > 0$	$t_0 = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$	$t_0 > t_{\alpha; \nu}$

1.3.4.3.2. İkiden Fazla Sistem Tasarımının Karşılaştırılması

İkiden fazla sistem tasarımını karşılaştırırken güven aralığı yaklaşımı benimsenmektedir. Burada ikiden fazla sistem için güven katsayısı Bonferroni eşitsizliği kullanılarak belirlenmektedir. Ayrıca sistem tasarım etkilerinin kestirilmesi için deney tasarımı da kullanılmaktadır.⁸² Çalışmamız iki sistem tasarımının karşılaştırılmasını kapsadığından, ikiden fazla sistem tasarımının karşılaştırılması ile ilgili daha fazla bilgiye yer verilmemiştir.

⁸² Law ve Kelton, **Ön.ver.**, s. 594.

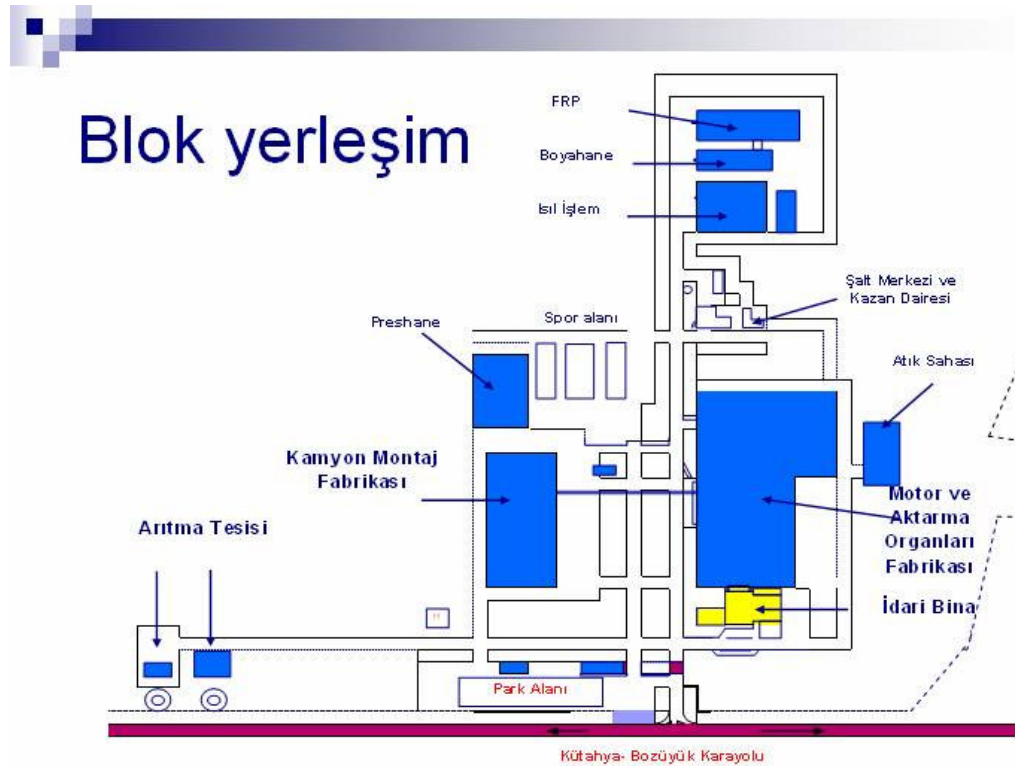
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

FORD OTOSAN FABRİKASI'NIN ŞANZUMAN ÜRETİM BÖLÜMÜ İÇİN HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ OLUŞTURULMASI VE MEVCUT ÜRETİM SİSTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

1. MEVCUT ÜRETİM SİSTEMİ'NİN TANITILMASI

1.1. Genel Olarak Fabrikanın Tanıtılması

Bu çalışmada, gerekli destek ve izin alınabildiği için Ford Otosan'ın Eskişehir İnönü fabrikası uygulama yeri olarak seçilmiştir. Ford Otosan fabrikası kapalı 61.000m² olmak üzere toplam 1.100.000m² alan üzerine kurulmuştur. Fabrikada kamyon ile motor ve aktarma organları üretimi yapılmaktadır. Fabrikanın genel yerleşim krokisi aşağıda gösterilmiştir.



Fabrikada üretilen ürünler cargo kamyon, 4 silindir motor, 6 silindir motor, şanzuman, arka aks ve ön düzen şeklinde sayılabilir.

Belirtilen ürünlerin üretiminde; talaşlı imalat, montaj, pres, ısıtma işlemi, kaynak, ölçüm, kesme, puntalama, tornalama, boring, delme, frezleme, diş açma, azdırma, raspalama, taşlama, honlama, lebleme, ovalama, sementasyon, indiksiyon, fosfatlama, kumlama, doğrultma, kaynak, lazer kaynak, sürtünme kaynağı, broş, çapak alma, çatlak kontrol ve işleme merkezleri kullanılmaktadır.

Ford Otosan Eskişehir İnönü Fabrikası'nda çalışan işgörenlerin bölümlere göre dağılımı Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 13. Ford Otosan Eskişehir İnönü Fabrikası'nda Çalışan İşgörenlerin Bölümlere Göre Dağılımı

Bölüm	Memur	İşçi	Toplam
Fabrika Müdürlüğü	4	1	5
Merkezi Bakım Müdürlüğü	5	40	45
Kamyon Alan Müdürlüğü	15	343	358
Motor Alan Müdürlüğü	13	373	386
Aktarma Alan Müdürlüğü	15	483	498
Planlama Müdürlüğü	13	80	93
İmalat Mühendisliği Müdürlüğü	18	26	44
Kalite Güvence Müdürlüğü	20	56	76
Muh. İdari İşler Müdürlüğü	16	32	48
Ürün Geliştirme	29	12	41
MP & L	5	0	5
Satınalma	9	2	11
Servis - Garanti	1	0	1
Toplam	163	1448	1611

1.2. Şanzuman Üretim Bölümü'nün Tanıtılması

Araştırmamızda fabrikanın Şanzuman Üretim Bölümü için hücresel üretim sistemi oluşturulması konu olarak belirlendiği için bu başlık altında fabrikanın bu üretim bölümü ile ilgili bilgi verilmesi düşünülmüştür. Ford Otosan fabrikasının Şanzuman Bölümü'nde bir şanzuman ünitesini oluşturan 23 parçanın üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu parçalardan bazıları için elde edilebilen resimler aşağıdaki tabloda tanıtılmıştır.

Tablo 14. Şanzuman Ünitesini Oluşturan Parçaların Resimleri			
Ana Mil		Ana Mil 1	
Ana Mil 2		Ana Mil 3	
Ana Mil 5		Avara	
Çıkış Flanşı		Giriş Mili	
Giriş Mili Tutucusu		Grup Mili Kompleksi (Grup Mili, Grup Mili 3, Grup Mili 4 ve Grup Mili 5 parçalarından oluşmaktadır)	
Senkromeç Göbeği		Senkromeç Bileziği	

Ayrıca bir şanzuman ünitesini oluşturmak için kullanılan parçaların adları ve her parçadan kaç adet kullanılması gerektiği Tablo 15’de gösterilmiştir.

Tablo 15. Bir Şanzuman Ünitesini Oluşturan Parçalar ve Adetleri.

Parça Adı	Adet
Ana Mil	1
Ana Mil 1	1
Ana Mil 2	1
Ana Mil 3	1
Ana Mil 5	1
Ana Mil Geri	1
Avara	1
Çıkış Flanşı	1
Giriş Mili	1
Giriş Mili Tutucusu	1
Grup Mili	1
Grup Mili 3	1
Grup Mili 4	1
Grup Mili 5	1
Kavrama 1	1
Kavrama 2	1
Kavrama 3	1
Kavrama 4	1
Kavrama 5	1
Kavrama Geri	1
Senkromeç Göbeği Küçük	1
Senkromeç Göbeği Büyük	2
Senkromeç Bileziği	3

Yıllar itibariyle bu fabrikanın şanzuman üretim bölümünde üretilen şanzuman üretim miktarı ise Tablo 16’da belirtilmiştir.

Tablo 16. Yıllara Göre Şanzuman Üretim Miktarları

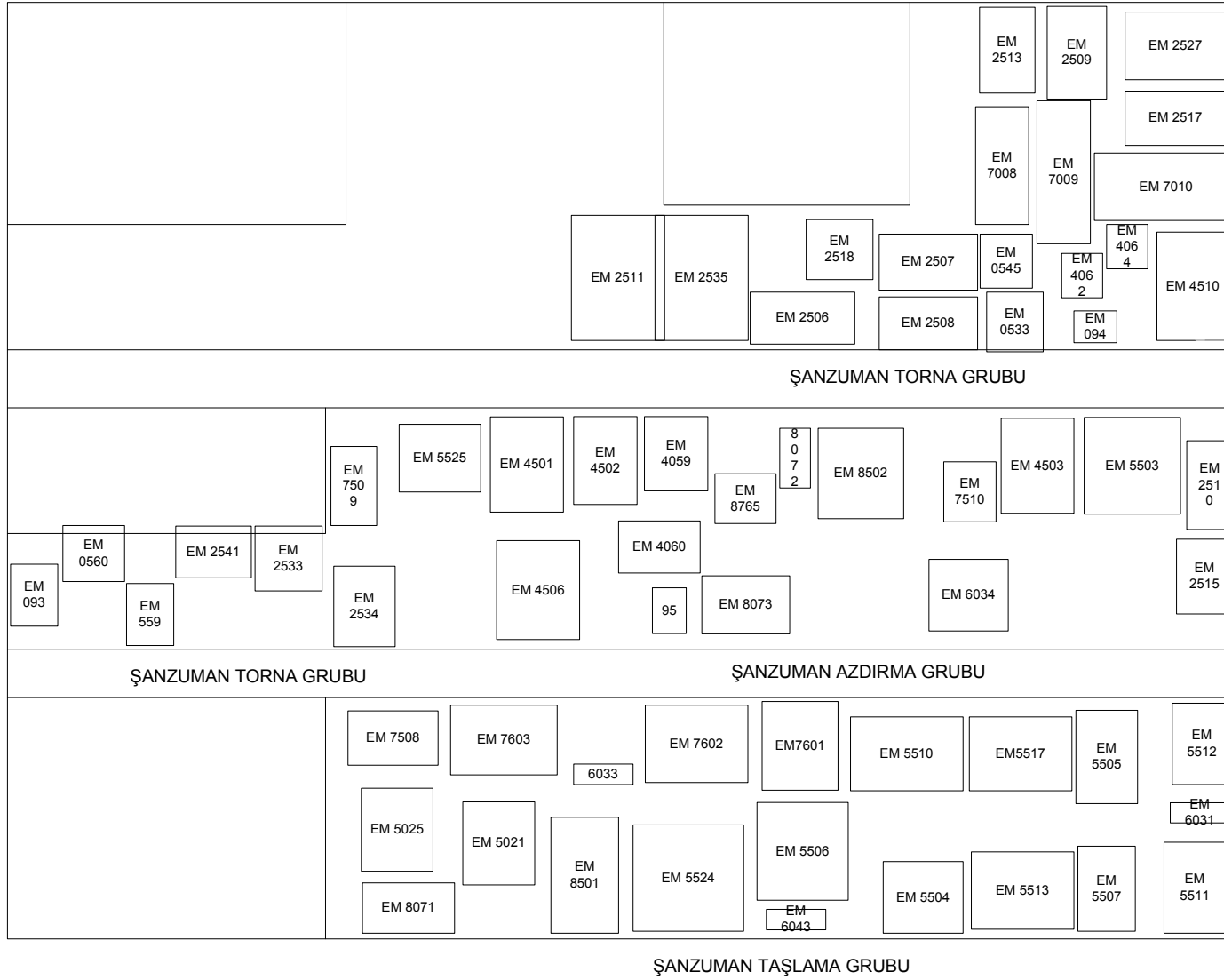
Yıllar	Üretim Miktarı
1996	13.469
1997	19.441
1998	22.053
1999	24.890
2000	33.764
2001	17.503
2002	13.668
2003	25.215
2004	35.198
2005	36.000

Şanzuman bölümünde üretilen herhangi bir parçanın, üretim işlemi göreceği makine dolu ise üretim işlemi o makinenin alternatifi olan başka bir makinede gerçekleştirilmektedir. Başka bir ifade ile bazı parçalar için alternatif üretim rotaları mevcuttur. Her parçanın alternatif üretim rota sayısı aşağıdaki tabloda parantez içerisinde belirtilmiştir.

Tablo 17. Parçalara Ait Üretim Rota Sayıları

Parça İsmi (Üretim Rota Sayısı)	Parça İsmi (Üretim Rota Sayısı)
Ana Mil (2)	Grup Mili 4 (2)
Ana Mil 1 (8)	Grup Mili 5 (2)
Ana Mil 2 (8)	Kavrama 1
Ana Mil 3 (8)	Kavrama 2 (2)
Ana Mil 5 (8)	Kavrama 3 (2)
Ana Mil Geri (8)	Kavrama 4 (2)
Avara (4)	Kavrama 5
Çıkış Flanşı	Kavrama Geri (2)
Giriş Mili	Senkromeç Bileziği (32)
Giriş Mili Tutucusu	Senkromeç Göbeği Büyük (5)
Grup Mili	Senkromeç Göbeği Küçük (5)
Grup Mili 3 (2)	

Şanzuman bölümünde, üretim sistemlerinin yerleşim tiplerinden birisi olan sürece göre yerleşim tipi uygulanmaktadır. Bu yerleşim tipinde aynı fonksiyona sahip makineler bir alanda toplanmıştır ve parçalar işlem sırasına göre bu makineler arasında taşınmaktadır. Şanzuman bölümünde makinelerin torna, taşlama ve azdırma grupları itibarıyla yerleşim düzeni Şekil 13'te gösterilmiştir. Bu şekildeki her bir kutucuğun içindeki bilgiler makinelerin EM numaralarını göstermektedir.



Şekil 13. Mevcut Üretim Sistemi Yerleşim Planı

Şanzuman bölümünde mevcut olan makinelerin adları, sayıları ve EM numaraları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Şanzuman Bölümü'nde Yer Alan Makineler

Makine Adı	Mevcut Sayısı	EM Numarası
Duap Punta	1	93
F.E. Matkap (Göbek Delme)	1	95
F.E. Matkap (Giriş Mili Delme)	1	94
Taksan	1	533
Makino Max	1	545
Hitachi 23 R III	2	2541, 559
Mazak SQT 200	1	560
Hitachi 25/S	1	2506
Hitachi 20 S II	1	2518
Hurth ZEA	1	4059
Hurth AEZ	1	4060
Pfauter Raspa	1	4503
Wera	1	4510
Schautdt T3	1	5503
Schautdt PF44	1	5505
RZP	1	5506
Wera	1	5525
Mae Pres	1	6031
Pres	1	6033
Pres	1	6043
Roto Flo	1	6034
Hoffman	2	7008, 7009
Forst Broş	1	7010
Jones Shipman	1	7508
Suphina	1	7509
Hurth Raspa	1	7510
Nagel	1	7603
Interflux	1	8071
Sakasan Yıkama	1	8072
Otosan Yıkama	1	8073
Lazer	1	8501
Bosch ECM	1	8502
Fortuna 2	2	5025, 5021
Hurth	2	4062, 4064
Mazak DT	3	2535, 2511, 2527
Mazak SQT	4	2507, 2508, 2533, 2534
Mori Seiki	4	2509, 2513, 2517, 2510
Pfauter	3	4501, 4502, 4506
Reinecker	3	5510, 5513, 5517
RZR	2	7601, 7602
Taccella	3	5507, 5511, 5512

Ana Mil, Giriş Mili ve Grup Mili parçaları 150'şerli, Ana Mil 1, Ana Mil 2, Ana Mil 3, Ana Mil Geri parçaları 24'erli, Ana Mil 5 ve Avara parçaları 56'şarlı, Grup Mili 3, Grup Mili 4, Grup Mili 5, Senkromeç Bileziği, Senkromeç Göbeği Küçük ve Senkromeç Göbeği Büyük parçaları 36'şarlı, Kavrama 1, Kavrama 2, Kavrama 3, Kavrama 4, Kavrama 5 ve Kavrama Geri parçaları 55'şerli, Çıkış Flanşı parçası 100'erli ve Giriş Mili Tutucusu parçası ise 500'erli partiler halinde makineler arasında taşınmaktadır. Parçaların makinelerdeki işlem süreleri ile ilgili bilgiler elde edilmiş olup Kavrama 2 parçasına ait süreler Tablo 19'da gösterilmektedir.

Tablo 19. Kavrama 2 Parçası İçin İşlem Sırası ve İşlem Süreleri

Bölümü	İşlem Gördüğü Makine Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi (sn.)	İşlem Süresi (sn.)
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	209	209
Azdırma	WERA	4510		25		85
Azdırma	YIKAMA MAKİNESİ	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, kumlama)					(13-24) saat
Torna	HITACHI 23 R III	559	2509, 2513	90	205-205	187
Taşılama	PRESS (Hidrolik Pres)	6033				

Süreç yerleşim düzeninde tesis içerisinde parçaların takip edilmesi oldukça karmaşıktır. Bu karmaşıklığa ilave olarak parçalar torna, taşılama ve azdırma bölümleri arasında uzun mesafelerde taşınmak zorunda kalmaktadır.

2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Araştırmamızın amacı, uygulama yaptığımız şanzuman bölümünde hücresel üretim sistemini kurmak, mevcut üretim sistemi ile karşılaştırmak ve hücresel üretim sisteminin uygulanması durumunda yaratacağı sonuçlar konusunda karar vericilere bilgi sağlamaktır.

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

3.1. Araştırma Modeli

Gerçekleştirdiğimiz araştırma, kullanılan araştırma yöntemine göre deneysel bir araştırmadır. Araştırma amacına göre ise hem mevcut durumu ortaya koyduğu için tanımlayıcı ya da betimleyici araştırma, hem de mevcut ve yeni üretim sistemlerinin karşılaştırılmasına yer verdiği için açıklayıcı araştırmadır.

3.2. Evren ve Örneklem

Araştırmamızın iki tane tanımlanmış evreni vardır. Tanımlanan evrenlerden birincisi; şanzuman parçalarının üretiminin yapıldığı tanımlanmış mevcut üretim sistemleri topluluğudur. Ford Otosan Fabrikası Şanzuman Bölümü mevcut üretim sistemi bu evrenden seçilmiş bir rassal örneklemidir.

Tanımlanan evrenlerden ikincisi ise mevcut şanzuman üretim sistemleri için tanımlanmış hücresele üretim sistemlerinden oluşmaktadır. Ford Otosan Fabrikası Şanzuman Bölümü için oluşturduğumuz hücresele üretim sistemi ise bu düşünsel evrenden seçilmiş bir örneklemidir.

3.3. Veriler ve Toplanması

Araştırmamıza öncelikle Şanzuman bölümünde üretilen parçalara ve bu bölümde yer alan makinelere ait verilerin toplanmasıyla başlanmıştır. Bu veriler: üretilen tüm parçaların işlem sıraları ve süreleri, 1996-2005 tarihleri arasında üretilen şanzuman ünitesi miktarları, şanzuman ünitesini oluşturan parçaların üretiminde kullanılan makinelere ait arızalararası ve arıza giderme süreleri ve şanzuman bölümünün yerleşimini gösteren ölçekli bir haritadan oluşmaktadır.

Bu verilerin nasıl elde edildiği konusunda ayrıntılı bilgiler 3.4.1. başlığı altında verilmiştir.

3.4. Şanzuman Bölümü Üretim Sistemi'nin Benzetim Modelinin Kurulması

3.4.1. Girdi Verilerinin Toplanması

Benzetim modeli oluştururken en önemli süreç verilerin toplanması sürecidir. Mevcut üretim sistemi ile ilgili modelde kullanılmak üzere toplanan verilerin neler olduğu ve nasıl derlendiği aşağıda açıklanmıştır.

- Şanzuman ünitesi üretim miktarları: Bu veriler 1996 - 2005 yılları arasında gerçekleştirilen şanzuman ünitesine ait aylık üretim miktarı verileridir. Bu veriler Ek 1. A'da verilmiştir.
- Makineler için arızalar arası süre ve arıza giderme süresi: Bu veriler bakım bölümünden temin edilmiştir. EM numarası itibariyle tüm makineler için bu veriler Ek 1. B'de verilmiştir.
- Makineler arasındaki uzaklıklar: Şanzuman bölümüne ait ölçekli bir harita üzerinden parçaların izledikleri yollar göz önünde bulundurularak metre cinsinden tarafımızdan ölçülmüştür. Mevcut üretim sistemindeki makineler arasındaki uzaklıklar Ek 1. C'de verilmiştir.
- Parçaların her biri için üretim süreleri: Söz konusu üretim süreleri saniye cinsinden şanzuman üretim bölümünde çalışan ve bu konuda bilgi verebilecek yetkili bir kişiden alınmıştır. Bu süreleri ve aynı zamanda işlem adımlarını gösteren tablolar Ek 1. D'de verilmiştir.
- Isıl işlem görmesi gereken parçalar, Isıl işlem bölümüne 15 parti biriktiğinde gönderilmektedir. Isıl İşlem bölümünden bu parçalar 13 ila 24 saat sonra geri gelmektedir. Bu nedenle, modelde bu

UNIF(13,24) ile düzgün dağılan bir gecikme olarak tanımlanacaktır.

3.4.2. Modelin Varsayımları

- Sistem durağan durum (Steady-state) olarak modellenmiştir.
- Sisteme gelen şanzuman ünitesi talepleri geçmiş yıllara ait aylık üretim verilerinden elde edilmiştir. Bir şanzumanın üretiminde farklı parçaların kullanımı göz önüne alınarak üretim miktarlarına göre belirlenen parçalar arası geliş süresi ve bu süreye uyan olasılık dağılımları Arena 9.0 yazılımında yer alan Input Analyzer programı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 20. Parçalar Arası Geliş Süresine Uyan Olasılık Dağılımları

	Senkromeç Bileziği		Senkromeç Göbeği Büyük		Diğer Parçalar	
Uygun Dağılım	Weibull		Weibull		Weibull	
Dağılım Parametreleri	3 + WEIB(6.43, 1.44)		5 + WEIB(8.9, 1.3)		10 + WEIB(17.8, 1.3)	
Hata Kareleri	0.001748		0.001312		0.001312	
Ki-Kare Test İstatistiği	0.791		0.624		0.624	
p Değeri	0.683		0.735		0.735	
Diğer Dağılımlarla Karşılaştırılması	Dağılım	Hata Kareleri	Dağılım	Hata Kareleri	Dağılım	Hata Kareleri
	Weibull	0.00176	Weibull	0.00131	Weibull	0.00131
	Gamma	0.00197	Gamma	0.00183	Gamma	0.00183
	Erlang	0.00215	Erlang	0.00302	Erlang	0.00302
	Beta	0.00596	Beta	0.00581	Beta	0.00581
	Lognormal	0.00617	Lognormal	0.0128	Lognormal	0.0128
	Normal	0.0205	Exponential	0.0177	Exponential	0.0177
	Exponential	0.0254	Normal	0.023	Normal	0.023
	Triangular	0.050	Triangular	0.0549	Triangular	0.0549
	Uniform	0.0957	Uniform	0.096	Uniform	0.096

- Modelde temel zaman birimi olarak gün kullanılmıştır.
- Parçalar makineler arasında işçiler tarafından partiler halinde 5-6 km/sa. hızla taşınırsa, taşıma süresi [$\text{taşıma uzaklığı} \cdot \text{UNIF}(0,01-0,012)$] formülü ile dakika cinsinden hesaplanabilir.
- Arızalar arası süre ve arıza giderme süreleri deterministik olarak girilmiştir.
- Parçalar için işlem sırası ve süreleri de deterministik olarak saniye cinsinden girilmiştir.

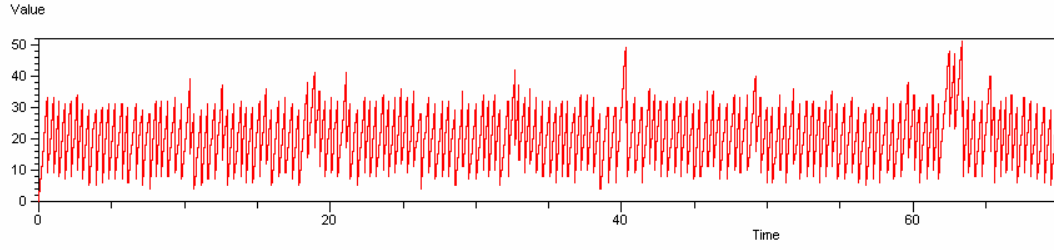
Yukarıdaki varsayımlar temel alınarak Arena 9.0 yazılımı ile benzetim modeli oluşturulmuştur. Modelde Station-Process-Route modülleri kullanılmıştır. Parçalar Sequence modülünde tanımlanan işlem sıralarına, işlem sürelerine ve transfer sürelerine göre makinelerde işlenmektedir. Record modülü ile de parçalarla ilgili olarak transfer süresi, bekleme süresi, işlem süresi ve üretim miktarı gibi istatistikler kaydedilmektedir. Makineler için bozulma durumları da Failure modülü kullanılarak tanımlanmıştır.

Benzetim modeli oluşturulduktan sonra bu modeli bilgisayar ortamında çalıştırabilmek için çalıştırım parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

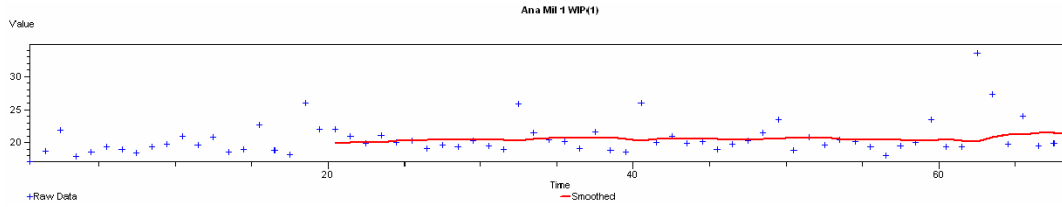
3.4.3. Modelin Çalıştırım Parametrelerini Belirleme

Benzetim modellerinde çalıştırım parametreleri, ısınma (warm-up) periyodu ve bir çalıştırım süresinin uzunluğunun belirlenmesini kapsamaktadır.

Isınma periyodunu belirleyebilmek için öncelikle model uzun bir süre (730 gün) çalıştırılmış ve tüm parçalar için sistemde bulunan toplam parça sayısını ifade eden WIP (work in process) değişkenine ilişkin veriler toplanmıştır. Örnek olarak Ana Mil 1 parçası için elde edilen grafik (70 gün için) aşağıdaki gibidir.



Şanzuman bölümünde üretilen tüm parçalar için veriler Arena 9.0 yazılımında yer alan Output Analyzer programı ile analiz edilmiştir. Tüm parçalar için 5, 10, 15 ve 20'şerli hareketli ortalamalar alınmış ve elde edilen grafikler incelenmiştir. İnceleme sonucunda 20'şerli hareketli ortalama sistemin durağan duruma geçtiği belirlenmiştir. Örnek olarak Ana Mil 1 parçası için 20'şerli hareketli ortalama alındıktan sonra elde edilen grafik aşağıda verilmiştir.



Isınma periyodunun mümkün olduğu kadar ne çok kısa ne de çok uzun belirlenmesi gerekir. Sonuçlar incelendiğinde ısınma periyodunun minimum 20 gün olması gerekmektedir. Çalışmamızda bu süre modelin doğrulanması aşamasında yapılacak olan analizlerde kolaylık sağlaması açısından 30 gün olarak tespit edilmiştir. Model, çalışmaya başladıktan 30 gün sonra sistem ile ilgili istenen istatistikleri tutmaya başlayacaktır.

Çalıştırım uzunluğunun, parçaların makinelerde işlenmesi, makineler arasında taşınması gibi tüm olayların pek çok kez gerçekleşmesine fırsat verecek şekilde uzun belirlenmesi gerekir. Çalışmamızda, çalıştırım uzunluğu bir yıl olarak belirlenmiştir.

3.4.4. Modelin Gerçeklenmesi

Benzetim modelinin bilgisayara doğru bir şekilde uyarlanıp uyarlanmadığı ve girdi parametrelerinin yine doğru bir şekilde ifade edilip edilmediği bu aşamada belirlenmektedir.

Bu kontrol Arena 9.0 yazılımında Trace komutu kullanılarak yapılmaktadır. Trace komutu, üretilen parçaların adım adım hangi makineye ne kadar sürede gittiğinin, ne kadar süre işlem gördüğünün takip edilmesini sağlamaktadır. Yapılan kontrol sonucunda benzetim modelinin bilgisayara doğru bir şekilde uyarlandığı belirlenmiştir.

3.4.5. Modelin Doğrulanması

Kurulan benzetim modelinin gerçek sistemi temsil edip etmediği modelin doğrulanması aşamasında belirlenmeye çalışılır.

Benzetim modeli ile gerçek sistem arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenebilmesi için benzetim modelinin ve gerçek sistemin performans ölçülerinin ortalamaları arasındaki fark için güven aralığı belirlenmektedir. Eğer belirlenen güven aralığı 0 değerini içerirse iki sistem arasında bir fark olmadığı istatistiksel olarak söylenebilmektedir.

Çalışmamızda modelin doğrulanması için üretim miktarı performans göstergesi olarak belirlenmiştir. Benzetim modeli bir tekrarı bir yıl olmak üzere on tekrar olarak çalıştırılmıştır. Çalışma tekrarları sonucunda elde edilen her bir parçaya ait 11 aya ilişkin üretim miktarları, on tekrar için bu miktarların ortalaması ve standart sapma değerleri Tablo 21’de gösterilmektedir.

Tablo 21. Kurulan Benzetim Modeli İçin Üretim Miktarı (11 Aylık), Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Parça Adı	Tekrar										Ortalama	Standart Sapma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ana Mil	18150	18150	18450	18150	18300	18150	18150	18300	18150	18300	18225,0	106,1
Ana Mil 1	18216	18240	18216	18264	18312	18096	18288	18192	18312	18192	18232,8	66,0
Ana Mil 2	18000	18048	18144	18360	18360	18216	18000	18000	18360	18360	18184,8	165,5
Ana Mil 3	18360	18360	18336	18288	18360	18000	18000	18000	18000	18360	18206,4	179,0
Ana Mil 5	18200	18256	18256	18200	18312	18312	18368	18200	18088	18312	18250,4	81,2
Ana Mil Geri	18000	18336	18360	18360	18000	18072	18336	18168	18360	18288	18228,0	153,2
Avara	18480	18088	19320	17920	18200	18480	18368	17640	18480	17640	18261,6	494,2
Çıkış Flanşı	18300	18100	18100	18300	18000	18100	18000	18300	18200	18100	18150,0	117,9
Giriş Mili	18300	18150	18300	18300	18300	18150	18300	18300	18300	18300	18270,0	63,2
Giriş Mili Tutucusu	18254	18303	18189	18154	18269	18158	18298	18244	18312	18278	18245,9	59,1
Grup Mili	18300	18300	18450	18150	18300	18150	18150	18300	18000	18150	18225,0	127,5
Grup Mili 3	18360	18360	18360	18396	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18363,6	11,4
Grup Mili 4	18360	18396	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18363,6	11,4
Grup Mili 5	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18252	18360	18360	18349,2	34,2
Kavrama 1	18315	18205	18260	18260	18205	18315	18150	18370	18260	18205	18254,5	65,8
Kavrama 2	18920	18150	18535	18535	18535	18975	18865	18150	18150	18480	18529,5	315,9
Kavrama 3	18150	18425	18425	18535	18370	18700	18150	18700	18975	18315	18474,5	259,9
Kavrama 4	18205	18150	18755	18150	18260	18150	18150	18150	18150	18975	18309,5	299,5
Kavrama 5	18260	18315	18260	18205	18260	18260	18150	18315	18205	18150	18238,0	59,1
Kavrama Geri	18645	18590	18150	18865	18150	18150	18700	18150	18150	18865	18441,5	318,7
Senkromeç Bileziği	54540	54576	54540	54540	55008	54540	54540	54540	54540	54540	54590,4	147,2
Senkromeç Göbeği Büyük	36634	36387	36569	36547	36376	36595	36542	36478	36385	36544	36505,7	93,8
Senkromeç Göbeği Küçük	18360	17820	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18306,0	170,8

Mevcut üretim sistemi için 1996 - 2005 tarihleri arasında parçaların her biri için Ocak ayı dışında kalan 11 aya ilişkin üretim miktarlarının ortalaması ve standart sapma değerleri ise Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Mevcut Üretim Sistemi İçin 1996-2005 Yılları Ocak Ayı
Dışındaki Üretim Miktarı Ortalamaları ve Standart Sapma Değerleri

Parça Adı	Ortalama	Standart Sapma
Ana Mil	22180,58	7822,77
Ana Mil 1		
Ana Mil 2		
Ana Mil 3		
Ana Mil 5		
Ana Mil Geri		
Avara		
Çıkış Flanşı		
Giriş Mili		
Giriş Mili Tutucusu		
Grup Mili		
Grup Mili 3		
Grup Mili 4		
Grup Mili 5		
Kavrama 1		
Kavrama 2		
Kavrama 3		
Kavrama 4		
Kavrama 5		
Kavrama Geri		
Senkromeç Göbeği Küçük		
Senkromeç Bileziği	66541,73	23468,32
Senkromeç Göbeği Büyük	44361,15	15645,55

Güven aralığının hesaplanması;

$$v = \frac{\left(\frac{s_{gs}^2}{n_{gs}} + \frac{s_{bm}^2}{n_{bm}} \right)^2}{\left(\frac{\left(\frac{s_{gs}^2}{n_{gs}} \right)^2}{(n_{gs} + 1)} + \frac{\left(\frac{s_{bm}^2}{n_{bm}} \right)^2}{(n_{bm} + 1)} \right)} - 2 \text{ serbestlik derecesinde}$$

(1 - α) güven düzeyinde;

$$(\bar{Y}_{gs} - \bar{Y}_{bm}) - t_{krit.deg.} \sqrt{\frac{s_{gs}^2}{n_{gs}} + \frac{s_{bm}^2}{n_{bm}}} \leq \mu_{gs} - \mu_{bm} \leq (\bar{Y}_{gs} - \bar{Y}_{bm}) + t_{krit.deg.} \sqrt{\frac{s_{gs}^2}{n_{gs}} + \frac{s_{bm}^2}{n_{bm}}}$$

formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Formüllerde yer alan gs indisi gerçek sistemi, bm indisi ise kurulan benzetim modelini ifade etmektedir. Her bir parça için hesaplanan güven aralığı değerleri Tablo 23'de gösterilmektedir.

Tablo 23. %95 Güven Düzeyinde Oluşan Güven Aralığı Değerleri

Parça Adı	Serbestlik Derecesi	Kritik Değer	Alt Sınır	Üst Sınır
Ana Mil	9,004	2,262	-1640,6	9551,8
Ana Mil 1	9,002		-1648,1	9543,7
Ana Mil 2	9,010		-1601,2	9592,7
Ana Mil 3	9,012		-1623,0	9571,3
Ana Mil 5	9,002		-1665,8	9526,2
Ana Mil Geri	9,008		-1644,2	9549,3
Avara	9,088		-1687,9	9525,8
Çıkış Flanşı	9,005		-1565,7	9626,9
Giriş Mili	9,001		-1685,3	9506,4
Giriş Mili Tutucusu	9,001		-1661,2	9530,5
Grup Mili	9,006		-1640,9	9552,0
Grup Mili 3	9,000		-1778,7	9412,7
Grup Mili 4	9,000		-1778,7	9412,7
Grup Mili 5	9,000		-1764,4	9427,1
Kavrama 1	9,002		-1669,8	9522,0
Kavrama 2	9,036		-1949,2	9251,3
Kavrama 3	9,024		-1892,7	9304,8
Kavrama 4	9,032		-1728,7	9470,9
Kavrama 5	9,001		-1653,3	9538,4
Kavrama Geri	9,037		-1861,3	9339,4
Senkromeç Göbeği Küçük	9,010		-1722,4	9471,6
Senkromeç Bileziği	9,001		-4836,1	28738,7
Senkromeç Göbeği Büyük	9,001		-3336,1	19047,0

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere bütün parçaların güven aralıkları 0 değerini kapsamaktadır. Bu sonuca göre % 95 güven düzeyinde iki sistemden birisinin daha iyi olduğuna dair istatistiksel bir kanıt olmadığı sonucuna varılmıştır; başka bir ifade ile kurulan benzetim modeli mevcut üretim sistemini doğru bir şekilde yansıtmaktadır.

3.5. Önerilecek Hücresel Üretim Sistemi'nin Oluşturulması

Yerleşimin sürece göre olduğu üretim sistemlerinde karşılaşılan problemlere çözüm olarak hücresel üretim sistemi önerilebilir. Bu sistemde makineler fonksiyonlarına göre değil hücresel yerleşime göre bir araya getirilmektedir. Hücresel üretim sisteminde en önemli konu hücrelerin oluşturulmasıdır. Çalışmamızda hücrelerin oluşturulması amacıyla tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır.

Toplanan veriler ışığında öncelikle parça makine matrisi oluşturulmuştur. Matris parçalar ve üretim rotalarının yer aldığı 108 satır ve makinelerin yer aldığı 38 sütundan oluşmaktadır. Matris Ek 2.'de verilmiştir.

Hücre oluşturma için tavlama benzetimi algoritması bilgisayar programlama dillerinden birisi olan C-Sharp programlama dili ile kodlanmıştır. Bilgisayar programı, parça makine matrisi ve tavlama benzetimi algoritmasının parametre değerleri girilerek çalıştırılmaktadır. Algoritma sonucu elde edilen çözüm bir html dosyasına kaydedilmektedir.

Parça makine matrisinin ve tavlama benzetimi algoritmasının parametrelerinin girdi ekranı görüntüsü aşağıdaki gibidir.

Algoritma Sabitleri

Başlangıç Derecesi	24	Son Kabul Oranı	0,01
Minimum Değişme	114	Ağırlıklandırma Oranı	0,80
Azaltma Faktörü	0,99	Maksimum Makine Sayısı	57
Maksimum İterasyon Sayısı	1140	Karşılaştırılacak Sonuç Sayısı	20

Parça/Makine Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1																	
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		

Yeni Makine

Makine Numarası: 39

Kopya Sayısı: 1

Yeni Parça

Parça Numarası: 24

Rota Sayısı: 1

Kaydet, Yükle, Yeni

1. Denenen değişimlerin %80'inin kabul edilmesini istiyorsak yani $\chi_0 = 0,80$ için başlangıç sıcaklık değeri,

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow \chi_0 = 0,80 \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} = \frac{699,4 / 583}{\ln(0,80^{-1})} = \frac{1,2}{0,2231} = 5,4$$

2. Denenen değişimlerin %90'ının kabul edilmesini istiyorsak yani $\chi_0 = 0,90$ için başlangıç sıcaklık değeri,

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow \chi_0 = 0,90 \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} = \frac{699,4 / 583}{\ln(0,90^{-1})} = \frac{1,2}{0,1054} = 11,4$$

3. Denenen değişimlerin %95'inin kabul edilmesini istiyorsak yani $\chi_0 = 0,95$ için başlangıç sıcaklık değeri,

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow \chi_0 = 0,95 \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} = \frac{699,4 / 583}{\ln(0,95^{-1})} = \frac{1,2}{0,051} = 23,4$$

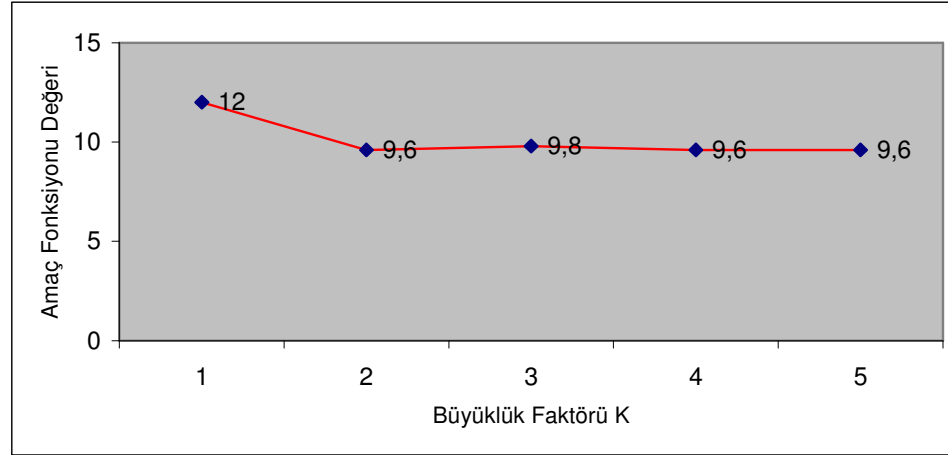
Hemen hemen tüm değişimlerin kabul edilmesi istenen bir durum olduğuna göre kabul edilme olasılığını 0,95 olarak alırsak başlangıç sıcaklık derecesini de 24 olarak kabul edebiliriz.

Azaltma faktörünü de daha yavaş bir soğuma sağlamak için $\alpha=0,99$ olarak alabiliriz.

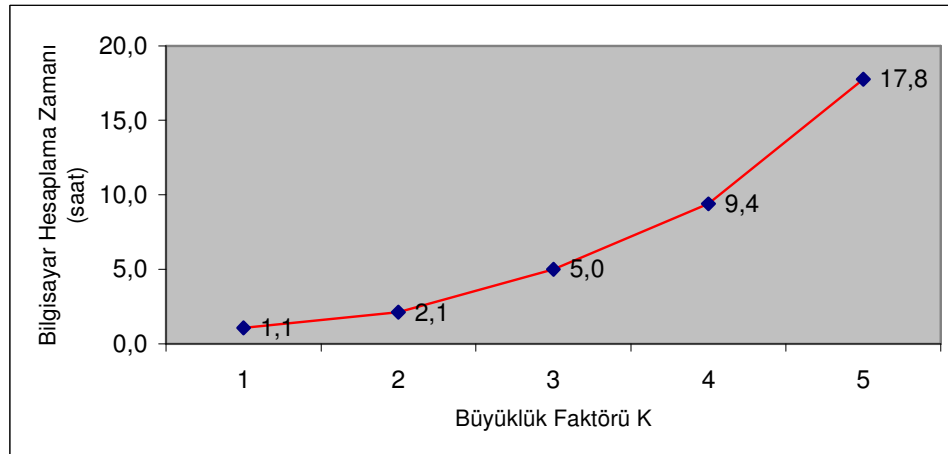
Her sıcaklık değerinde gerçekleştirilecek iterasyon sayısının belirlenmesinde kullanılan büyüklük faktörleri sırasıyla 1, 2, 4, 8 ve 16 olarak ele alınmış ve algoritma $T_0=24$ ve $\alpha=0,99$ değerleri kullanılarak çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

K	1	2	4	8	16
İterasyon Sayısı	57	114	228	456	912
CPU	1,08	2,11	5,00	9,40	17,75
AFD	12	9,6	9,8	9,6	9,6

CPU: Bilgisayar hesaplama zamanı (saat).
AFD: Amaç fonksiyonu değeri.



a) Amaç Fonksiyonu Değeri (AFD)



b) Bilgisayar Hesaplama Zamanı (CPU)

Şekil 14. Farklı Büyüklük Faktörü Değerlerinin AFD ve CPU Değerlerine Olan Etkisi

Sonuçlara baktığımızda en iyi amaç fonksiyonu değeri olan 9,6'nın ve en iyi bilgisayar hesaplama zamanının büyüklük faktörü 2 değerinde gerçekleştiğini görüyoruz. Bu durumda her sıcaklık derecesinde gerçekleştirilecek yeni çözümlerin sayısı sistemdeki makinelerin sayısı ile büyüklük faktörünün çarpımı olan 114 ($57 \cdot 2$) olarak belirlenir. Sonuç olarak tavlama benzetimi algoritmasının belirlenen parametre değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 24. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Parametre Değerleri

Başlangıç Sıcaklık Derecesi T_0 :	24
Azaltma Faktörü α :	0,99
Her Sıcaklık Derecesinde Gerçekleştirilecek İterasyon Sayısı:	114
Durma Koşulları:	▪ İterasyonların sayısı belirlenen maksimum iterasyon sayısını (1140) aşmışsa, ▪ Kabul oranı verilen son kabul oranından (0,01) küçükse, ▪ Amaç fonksiyonu değeri belli sayıdaki iterasyonda (son 20 iterasyon) değişmemiş aynı kalmışsa.

Algoritma belirlenen parametrelere göre çalıştırılmış ve bir çözüm elde edilmiştir. Buna göre hücrelerde yer alan parçalar, üretim rotaları ve makine grupları aşağıda yer alan tablodaki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 25. Hücrelerde Yer Alan Parçalar, Üretim Rotaları ve EM Numaralarına Göre Makine Grupları

Hücre	Parça Ailesi		EM Numaralarına Göre Makine Grupları
	Parça Adı	Üretim Rotası	
1	Ana Mil 1	2	4503, 5525, 6033, 7508, 8501, Fortuna 2, Mazak DT, Pfauter, Reinecker, RZR
	Ana Mil 2	2	
	Ana Mil 3	2	
	Ana Mil 5	3	
	Ana Mil Geri	2	
	Avara	2	
2	Senkromeç Göbeği (Büyük)	2	94, 7010, 8502, Hoffman Bros, Mori Seiki
	Senkromeç Göbeği (Küçük)	2	
3	Kavrama 1	1	4510, Hitachi R III, Mazak QT
	Kavrama 2	1	
	Kavrama 3	1	
	Kavrama 4	1	
	Kavrama 5	1	
	Kavrama Geri	1	
4	Giriş Mili Tutucusu	1	Mori Seiki
5	Ana Mil	2	93, 95, 560, 2506, 4060, 5506, 6031, 6034, 6043, 7509, Hitachi R III, Mazak QT, Pfauter, Reinecker, RZR, Taccella
	Giriş Mili	1	
	Grup Mili	1	
6	Çıkış Flanşı	1	545, 5503, Hoffman Bros, Hurth, Mazak QT, Mori Seiki
	Senkromeç Bileziği	22	
7	Grup Mili 3	1	4059, 7603, Mazak DT, Pfauter
	Grup Mili 4	1	
	Grup Mili 5	1	
Boşta Kalan Makineler: 533, 2518, 5505, 7510, Fortuna 2, Hurth, Mazak DT, Mazak QT, Mori Seiki, Reinecker, Taccella (2 adet)			

Algoritma sonucunda boşta kalan yani hiçbir hücreye atanmayan makineler hücre içinde parçaların işlenmek üzere çok beklememeleri için uygun hücrelere atanmıştır. Sonuç olarak hücreler, hücrelere atanan parçalar ve makineler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 26. Boşta Kalan Makinelerin Hücelere Atanması

Hücre	Parça Ailesi		EM Numaralarına Göre Makine Grupları
	Parça Adı	Üretim Rotası	
1	Ana Mil 1	2	4503, 5525, 6033, 7508, 8501, 5025, 5021, 2535, 2511, 4501, 5513, 5517, 7602
	Ana Mil 2	2	
	Ana Mil 3	2	
	Ana Mil 5	3	
	Ana Mil Geri	2	
	Avara	2	
2	Senkromeç Göbeği (Büyük)	2	94, 7010, 8502, 7008, 2509
	Senkromeç Göbeği (Küçük)	2	
3	Kavrama 1	1	4510, 559, 2507, 2508
	Kavrama 2	1	
	Kavrama 3	1	
	Kavrama 4	1	
	Kavrama 5	1	
	Kavrama Geri	1	
4	Giriş Mili Tutucusu	1	2517
5	Ana Mil	2	93, 95, 560, 2506, 4060, 5506, 6031, 6034, 6043, 7509, 2541, 2534, 4506, 5510, 5505, 7601, 5511, 5507, 5512
	Giriş Mili	1	
	Grup Mili	1	
6	Çıkış Flanşı	1	545, 5503, 533, 7009, 4062, 4064, 2533, 2518, 2513, 2510
	Senkromeç Bileziği	22	
7	Grup Mili 3	1	4059, 7603, 2527, 4502
	Grup Mili 4	1	
	Grup Mili 5	1	

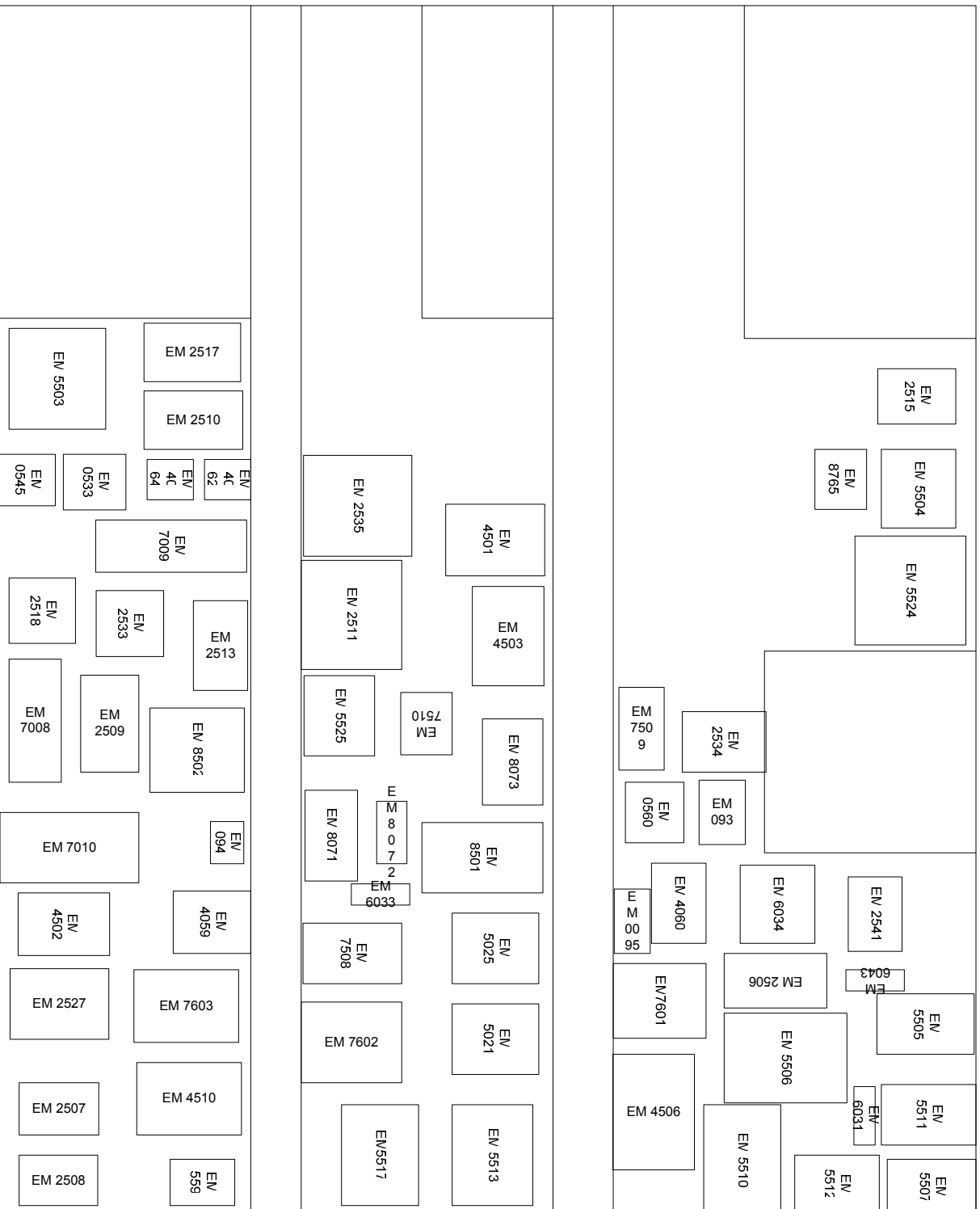
Bazı parçaların işlem görmek üzere başka bir hücreye gitmesi makine sayısı kısıtı nedeniyle kaçınılmazdır. Bu parçalar ve gittikleri hücreler ise aşağıdaki gibidir.

Tablo 27. Dışta Kalan Parçaların Gittikleri Hücreler

Hücre	Parça Adı	Gittiği Hücre	Gittiği Hücrede İşlem Gördüğü Makine EM Numarası
1	Avara	4	2517
5	Giriş Mili	1	6033, 8501
6	Senkromeç Bileziği	2	8502

Parça aileleri ve makine grupları belirlendikten sonra hücrelerde yer alan makineler işledikleri parçaların üretim rotalarına göre uygun bir düzende yerleştirilmiştir. 4. Hücrede yer alan giriş mili tutucusu parçası haricindeki tüm

parçalar, EM No 8072 Sakasan Yıkama, EM No 8073 Otosan Yıkama ve EM No 8071 Interflux Çatlak Kontrol makinelerine gittikleri için bu makineler tüm hücrelere yakın olacak bir şekilde yerleştirilmiştir ve makineler arasındaki uzaklıklar ölçülmüştür. Önerilecek hücresel üretim sisteminde makineler arasındaki uzaklıklar Ek 3'de verilmektedir. Şekil 15'de mevcut yerleşimde yer alan makinelerin önerilecek yerleşimde nasıl düzenlendiğini gösteren bir yerleşim haritası yer almaktadır.



Yapılan yerleşim sonucunda parçaların üretim rotalarına göre taşındıkları minimum ve maksimum taşıma mesafeleri aşağıdaki tabloda gösterildiği şekilde gerçekleşmiştir.

Tablo 28. Mevcut ve Önerilecek Yerleşime Göre Minimum ve Maksimum Taşıma Mesafeleri

Parça Adı	Mevcut Yerleşim		Önerilecek Yerleşim		Fark	
	Taşıma Mesafesi (m.)		Taşıma Mesafesi (m.)		(Öner. Y. - Mevcut Y.)	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Ana Mil	290,4	300,7	157,7	167,8	132,7	132,9
Ana Mil 1	64,4	96,7	25,5	40	38,9	56,7
Ana Mil 1 Kavrama 1	225,5	260	93,5	95,5	132	164,5
Ana Mil 2	119,5	172,1	67,5	85,5	52	86,6
Ana Mil 2 Kavrama 2	156,1	161,7	66	71,5	90,1	90,2
Ana Mil 3	119,5	172,1	67,5	85,5	52	86,6
Ana Mil 3 Kavrama 3	156,1	161,7	66	71,5	90,1	90,2
Ana Mil 5	64,4	96,7	25,5	40	38,9	56,7
Ana Mil 5 Kavrama 5	224,8	259,3	91,5	93,5	133,3	165,8
Ana Mil Geri	119,5	172,1	67,5	85,5	52	86,6
Ana Mil Geri Kavrama Geri	156,1	161,7	66	71,5	90,1	90,2
Avara	175,2	191,8	149	160,5	26,2	31,3
Çıkış Flanşı	155,9		79,5		76,4	
Giriş Mili	229,5	240,6	123,1	128,2	106,4	112,4
Giriş Mili Kavrama 4	161,9	189,1	97		64,9	92,1
Grup Mili	154,3	165,3	98,4	98,7	55,9	66,6
Grup Mili GM 3	16,4	23,1	4		12,4	19,1
Grup Mili GM 3 GM 4 GM 5	142,2	143,4	62,6		79,6	80,8
Grup Mili 3	142,4	296,3	80,5		61,9	215,8
Grup Mili 4	142,4	167,8	80,5		61,9	87,3
Grup Mili 5	142,4	208,7	80,5		61,9	128,2
Kavrama 1	61,3	64,5	17	21,5	44,3	43
Kavrama 2	141,9	167,6	69,5	74	72,4	93,6
Kavrama 3	141,9	167,6	69,5	74	72,4	93,6
Kavrama 4	141,9	167,6	69,5	74	72,4	93,6
Kavrama 5	61,3	64,5	17	21,5	44,3	43
Kavrama Geri	141,9	167,6	69,5	74	72,4	93,6
Senkromeç Bileziği	113,8	287,4	86	94,5	27,8	192,9
Senkromeç Göbeği K	107	157,1	111,5		-4,5	45,6
Senkromeç Göbeği B	107	157,1	111,5		-4,5	45,6

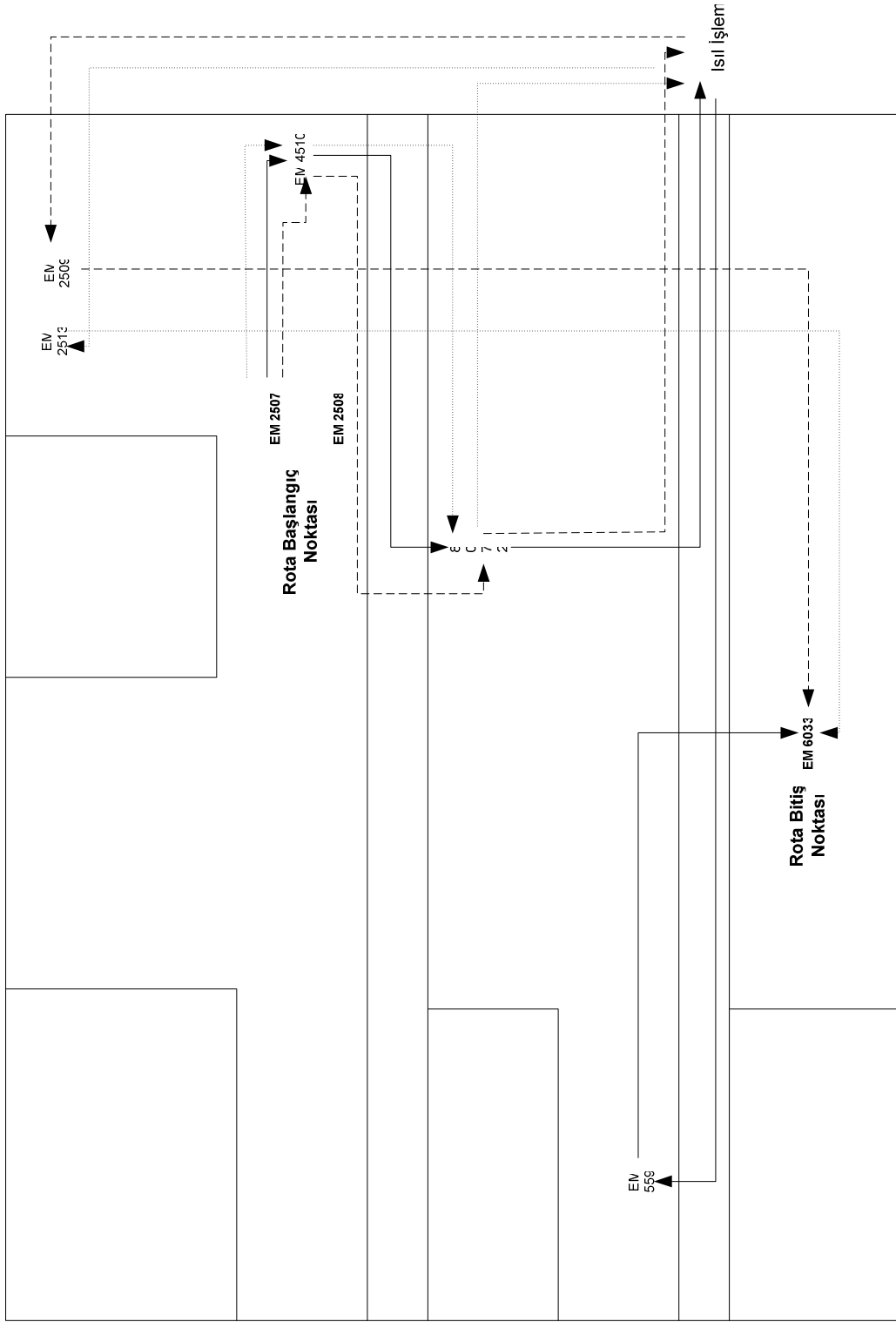
Mevcut üretim sisteminde Kavrama 2 parçasının izleyebileceği üretim rotaları makinelerin EM numaralarına göre aşağıdaki sırada gerçekleşmektedir.

Üretim rotası 1:	2507 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 559 – 6033
Üretim rotası 2:	2507 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 2509 – 6033
Üretim rotası 3:	2507 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 2513 – 6033
Üretim rotası 4:	2508 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 559 – 6033
Üretim rotası 5:	2508 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 2509 – 6033
Üretim rotası 6:	2508 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 2513 – 6033

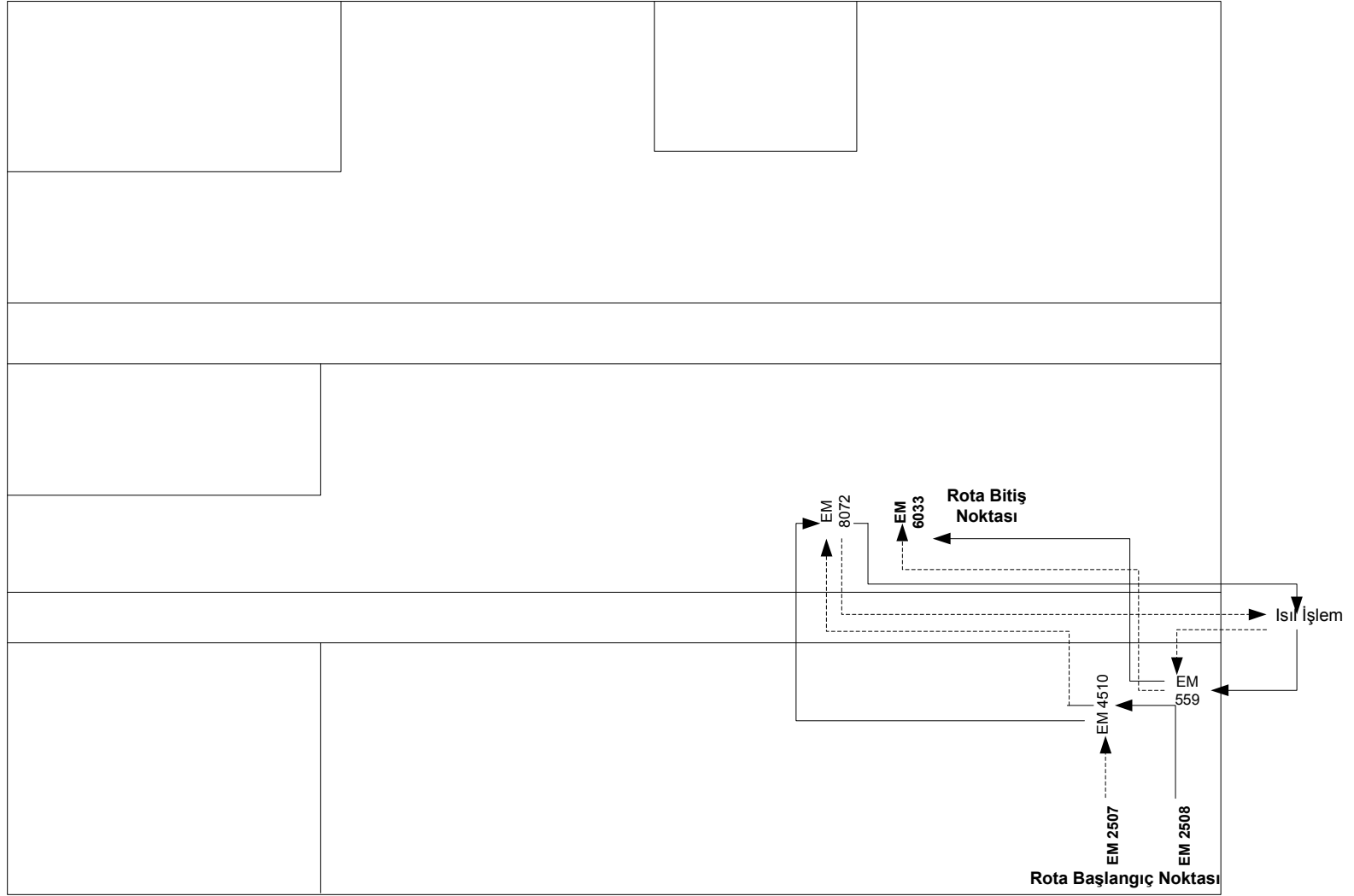
Önerilecek hücreli üretim sisteminde ise Kavrama 2 parçasının izleyebileceği üretim rotaları yine makinelerin EM numaralarına göre aşağıdaki sırada gerçekleşmiştir.

Üretim rotası 1:	2507 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 559 – 6033
Üretim rotası 2:	2508 – 4510 – 8072 – Isıl İşlem – 559 – 6033

Mevcut üretim sisteminde Kavrama 2 parçasının izleyeceği üretim rotaları ilk üç üretim rotası için, hücreli üretim sisteminde de her iki üretim rotası için izleyen sayfalarda yer alan yerleşim haritalarında gösterilmektedir.



Şekil 16 Kavrama 2 Parçasının Mevcut Üretim Sistemi'nde İzleyeceği Üretim Rotaları (İlk 3 Üretim Rotası Gösterilmiştir)



Şekil 17. Kavrama 2 Parçasının Hücresel Üretim Sistemi'nde İzleyeceği Üretim Rotaları

3.6. Önerilecek Hücresel Üretim Sisteminin Benzetim Modelinin Kurulması

Önerilecek hücresel üretim sisteminin benzetim modelinde kullanılan girdi verileri mevcut modelin girdi verileri ile aynıdır.

Önerilecek hücresel üretim sisteminde makineler arasındaki uzaklıkları belirleyebilmek için öncelikle ölçekli bir harita üzerinde tavlama benzetimine göre oluşturulan makine grupları yerleştirilmiştir. Bu işlemin ardından makineler arasındaki uzaklıklar tarafımızdan metre cinsinden yine harita üzerinden ölçülmüştür.

3.6.1. Modelin Varsayımları

Önerilecek hücresel üretim sisteminin benzetim modelinin varsayımları mevcut üretim sisteminin benzetim modelinin varsayımları ile aynıdır. Sadece makineler arasındaki uzaklıklar önerilecek üretim sistemine göre değiştirilmiştir.

Mevcut üretim sisteminin benzetim modeli ile önerilecek hücresel üretim sisteminin benzetim modelleri aynı çalıştırım parametreleri ile çalıştırılacaktır.

3.6.2. Modelin Gerçeklenmesi

Bu kontrol Arena 9.0 yazılımında Trace komutu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan kontrol sonucunda benzetim modelinin bilgisayara doğru bir şekilde uyarlandığı belirlenmiştir.

3.7. Mevcut Üretim Sistemi Ve Önerilecek Hücresele Üretim Sisteminin Karşılaştırılması

Öncelikle iki sistemin karşılaştırılmasında kurulan benzetim modellerinin kaç tekrar çalıştırılacağına belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, yapılan 10 tekrar sonucunda bekleme süresi (dakika) için (örnek olarak ana mil parçası ele alınmıştır) elde edilen ortalama $\bar{y} = 7734,986$, standart sapma $s = 24,946$ ve standart hata $s_{\bar{y}} = 17,846$ olarak bulunmuştur.

Bu standart hata değerinin % 40 azalmasını istersek, başka bir deyişle standart değerinin 17,846 dakikadan 11 dakikaya düşürülmesi için yapılması gereken tekrar sayısı aşağıda ifade edilen formül kullanılarak belirlenmektedir.⁸³

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$$

Burada yer alan n yapılacak tekrar sayısını, n_0 başlangıçta yapılan tekrar sayısını, h_0 yapılan n_0 tekrar sonucunda elde edilen standart hata değerini

$h_0 = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ ve h ise ulaşılmak istenen standart hata değerini göstermektedir.

Standart hata değerinin 11 dakikaya düşürülmesi düşüncesi altında çalışmamızda kullanılacak tekrar sayısı $n \cong 10 \frac{17,846^2}{11^2} \cong 27$ olarak bulunmuştur.

İki sistemin benzetim modelleri, ısınma periyodu bir ay ve her tekrar bir yıl olmak üzere 27 tekrar çalıştırılmıştır.

⁸³ W. David Kelton, Randall P. Sadowski ve David T. Sturrock, **Simulation With Arena**. (Üçüncü Basım. USA: McGraw – Hill Companies, Inc., 2004), s. 262.

4. VERİLERİN ANALİZİ VE YORUMU

Mevcut sistem ve önerilecek sistem parçalar için ortalama transfer süresi, makinelerdeki parça başına ortalama bekleme süresi, parçaların üretim miktarı, parçaların üretim süresi performans göstergeleri bakımında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için t testi uygulanmıştır.

- Sistemlerin, parçaların ortalama transfer süresi performans göstergesi bakımından karşılaştırılması.

Bu karşılaştırmada, her iki sistemle üretilen parçaların ortalama transfer süresi performansı arasında farklılık yoktur $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ istatistiksel hipotezi, mevcut üretim sisteminde parçaların ortalama transfer süresi performansı önerilecek hücreli üretim sisteminden daha büyüktür $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ araştırma hipotezine karşı test edilmektedir. Anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak belirlenmiştir. Parça türleri itibarıyla ikinci bölüm Tablo 12’de yer alan eşitlikler yardımıyla hesaplanan t istatistikleri ve serbestlik dereceleri Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29. Ortalama Transfer Süresi İçin t Testi Sonuçları

Parça Adı	Serbestlik Derecesi	Hesaplanan t değeri	Kritik Değer	Karar
Ana Mil	45,54	1011,9	1,679	Ho Reddedilir.
Ana Mil 1	51,87	938,5	1,675	Ho Reddedilir.
Ana Mil 1 Kavrama 1	27,56	584,5	1,701	Ho Reddedilir.
Ana Mil 2	33,90	323,9	1,691	Ho Reddedilir.
Ana Mil 2 Kavrama 2	39,28	2842,0	1,685	Ho Reddedilir.
Ana Mil 3	29,86	282,7	1,697	Ho Reddedilir.
Ana Mil 3 Kavrama 3	44,64	2538,1	1,679	Ho Reddedilir.
Ana Mil 5	30,66	320,3	1,696	Ho Reddedilir.
Ana Mil 5 Kavrama 5	27,53	458,8	1,701	Ho Reddedilir.
Ana Mil Geri	28,81	267,8	1,699	Ho Reddedilir.
Ana Mil Geri Kavrama Geri	42,06	2710,1	1,682	Ho Reddedilir.
Avara	42,10	288,4	1,682	Ho Reddedilir.
Cikis Flansi	44,21	779,9	1,680	Ho Reddedilir.
Giris Mili	26,52	231,8	1,703	Ho Reddedilir.
Giris Mili Kavrama 4	26,27	781,3	1,706	Ho Reddedilir.
Giris Mili Tutucusu	26,00	619,5	1,706	Ho Reddedilir.
Grup Mili	26,23	25,9	1,706	Ho Reddedilir.
Grup Mili 3	27,38	201,6	1,703	Ho Reddedilir.
Grup Mili 4	29,49	258,4	1,699	Ho Reddedilir.
Grup Mili 5	27,50	199,5	1,703	Ho Reddedilir.
Grup Mili GM 3 GM 4 GM 5	47,26	1888,3	1,678	Ho Reddedilir.
Kavrama 1	50,36	866,8	1,676	Ho Reddedilir.
Kavrama 2	26,11	31,3	1,706	Ho Reddedilir.
Kavrama 3	26,12	32,4	1,706	Ho Reddedilir.
Kavrama 4	26,07	28,9	1,706	Ho Reddedilir.
Kavrama 5	43,56	985,2	1,680	Ho Reddedilir.
Kavrama Geri	26,13	29,6	1,706	Ho Reddedilir.
Senkromec Bilezigi	26,71	1447,5	1,703	Ho Reddedilir.
Senkromec Bilezigi ve Gobekleri	30,66	1081,2	1,696	Ho Reddedilir.
Senkromec Gobegi B	28,27	837,4	1,701	Ho Reddedilir.
Senkromec Gobegi K	30,73	897,4	1,696	Ho Reddedilir.

Tablo 29 incelendiğinde bütün parçalar için H_0 hipotezinin reddedildiğini yani hesaplanan t istatistiklerinin $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde ve hesaplanan serbestlik derecesinde belirlenen kritik (tablo) değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre önerilecek hücresel üretim sisteminde tüm parçalar için $\alpha=0,05$ anlamlılık (%95 güven) düzeyinde parçaların ortalama transfer sürelerinin mevcut üretim sistemine göre düşük olduğu istatistiksel olarak söylenebilir.

- Sistemlerin, makinelerdeki parça başına ortalama bekleme süresi performans göstergesi bakımından karşılaştırılması.

Bu karşılaştırmada, her iki sistemle üretilen parçaların, makinelerdeki parça başına ortalama bekleme süresi arasında farklılık yoktur $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ istatistiksel hipotezi, mevcut üretim sisteminde parçaların makinelerdeki parça başına ortalama bekleme süresi performansı önerilecek hücreli üretim sisteminden daha büyüktür $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ araştırma hipotezine karşı test edilmektedir. Anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak belirlenmiştir. Makine EM numaralı itibarıyla ikinci bölüm Tablo 11.b'de yer alan eşitlikler yardımıyla hesaplanan t istatistikleri ve serbestlik dereceleri Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Ortalama Bekleme Süresi İçin t Testi Sonuçları

Makine EM Numarası	Serbestlik Derecesi	Hesaplanan t değeri	Kritik Değer	Karar
EM No 2506 Process	33,80	-14,117	1,691	Ho Kabul Edilir.
EM No 2507 Process	49,60	0,587	1,676	Ho Kabul Edilir.
EM No 2508 Process	50,64	-7,907	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 2509 Process	26,08	193,006	1,706	Ho Reddedilir.
EM No 2510 Process	47,68	-1,200	1,677	Ho Kabul Edilir.
EM No 2511 Process	47,68	-23,057	1,677	Ho Kabul Edilir.
EM No 2513 Process	30,97	127,495	1,696	Ho Reddedilir.
EM No 2517 Process	47,75	2,415	1,677	Ho Reddedilir.
EM No 2518 Process	42,01	0,373	1,682	Ho Kabul Edilir.
EM No 2527 Process	28,32	-57,117	1,701	Ho Kabul Edilir.
EM No 2533 Process	40,22	-29,763	1,684	Ho Kabul Edilir.
EM No 2534 Process	41,29	-4,150	1,683	Ho Kabul Edilir.
EM No 2535 Process	50,02	36,499	1,676	Ho Reddedilir.
EM No 2541 Process	51,58	0,551	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 4059 Process	26,01	28,858	1,706	Ho Reddedilir.
EM No 4060 Process	32,70	24,786	1,692	Ho Reddedilir.
EM No 4062 Process	46,18	1,074	1,679	Ho Kabul Edilir.
EM No 4064 Process	47,62	-2,601	1,677	Ho Kabul Edilir.
EM No 4501 Process	27,35	-16,050	1,703	Ho Kabul Edilir.
EM No 4502 Process	26,41	26,588	1,706	Ho Reddedilir.
EM No 4503 Process	50,81	-30,295	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 4506 Process	51,97	1,609	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 4510 Process	51,13	2,023	1,675	Ho Reddedilir.
EM No 5021 Process	26,21	8,178	1,706	Ho Reddedilir.
EM No 5025 Process	26,10	8,128	1,706	Ho Reddedilir.
EM No 533 Process	50,67	0,913	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 545 Process	43,89	-791,843	1,680	Ho Kabul Edilir.
EM No 5503 Process	46,91	-6,158	1,678	Ho Kabul Edilir.
EM No 5505 Process	46,57	0,504	1,678	Ho Kabul Edilir.
EM No 5506 Process	49,51	-0,136	1,676	Ho Kabul Edilir.
EM No 5507 Process	44,36	-0,500	1,680	Ho Kabul Edilir.
EM No 5510 Process	35,61	120,163	1,688	Ho Reddedilir.
EM No 5511 Process	36,85	5,739	1,687	Ho Reddedilir.
EM No 5512 Process	42,75	-1,592	1,681	Ho Kabul Edilir.
EM No 5513 Process	46,48	-23,907	1,679	Ho Kabul Edilir.
EM No 5517 Process	38,89	-24,423	1,685	Ho Kabul Edilir.
EM No 5525 Process	50,62	130,695	1,675	Ho Reddedilir.
EM No 559 Process	33,80	-34,473	1,691	Ho Kabul Edilir.
EM No 560 Process	49,93	-0,483	1,676	Ho Kabul Edilir.
EM No 6031 Process	51,58	-3,432	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 6033 Process	44,53	15,868	1,679	Ho Reddedilir.
EM No 6034 Process	49,45	1,423	1,677	Ho Kabul Edilir.
EM No 6043 Process	50,95	-0,657	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 7008 Process	26,53	318,506	1,703	Ho Reddedilir.
EM No 7009 Process	31,76	-273,926	1,694	Ho Kabul Edilir.
EM No 7010 Process	51,73	7,119	1,675	Ho Reddedilir.
EM No 7508 Process	26,56	42,293	1,703	Ho Reddedilir.
EM No 7509 Process	50,24	-0,121	1,676	Ho Kabul Edilir.
EM No 7510 Process	50,67	45,094	1,675	Ho Reddedilir.
EM No 7601 Process	37,73	-25,742	1,686	Ho Kabul Edilir.
EM No 7602 Process	48,18	1,800	1,677	Ho Reddedilir.
EM No 7603 Process	26,30	-29,962	1,706	Ho Kabul Edilir.
EM No 8071 Process	40,93	-15,141	1,683	Ho Kabul Edilir.
EM No 8072 Process	47,27	7,662	1,678	Ho Reddedilir.
EM No 8073 Process	26,00	-213,365	1,706	Ho Kabul Edilir.
EM No 8501 Process	41,93	15,956	1,682	Ho Reddedilir.
EM No 8502 Process	50,67	-0,099	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 93 Process	42,47	1,608	1,682	Ho Kabul Edilir.
EM No 94 Process	51,53	0,174	1,675	Ho Kabul Edilir.
EM No 95 Process	26,00	1,000	1,706	Ho Kabul Edilir.

Tablo 30 incelendiğinde bazı makineler için $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde ve hesaplanan serbestlik derecesinde, H_0 hipotezinin reddedildiğini yani hesaplanan t istatistiklerinin belirlenen kritik (tablo) değerden büyük olduğu, bazı makineler içinse H_0 hipotezinin kabul edildiği yani hesaplanan t istatistiklerinin belirlenen kritik (tablo) değerden küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre mevcut üretim sisteminde $\alpha=0,05$ anlamlılık (%95 güven) düzeyinde bazı makinelerdeki parça başına ortalama bekleme sürelerinin önerilecek hücresele üretim sistemine göre büyük olduğu istatistiksel olarak söylenebilir.

- Sistemlerin, parçaların üretim miktarı performans göstergesi bakımından karşılaştırılması.

Bu karşılaştırmada, her iki sistemle üretilen parçaların üretim miktarı performansı arasında farklılık yoktur $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ istatistiksel hipotezi, mevcut üretim sisteminde parçaların üretim miktarı performansı önerilecek hücresele üretim sisteminden daha küçüktür $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ araştırma hipotezine karşı test edilmektedir. Anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak belirlenmiştir. Parça türleri itibarıyla ikinci bölüm Tablo 12’de yer alan eşitlikler yardımıyla hesaplanan t istatistikleri ve serbestlik dereceleri Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31. Üretim Miktarı İçin t Testi Sonuçları				
Parça Adı	Serbestlik Derecesi	Hesaplanan t değeri	Kritik Değer	Karar
Ana Mil 1 Çikis	51,75	17,98	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 1 Kavrama 1 Çikis	48,16	17,16	1,677	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 2 Çikis	51,47	6,97	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 2 Kavrama 2 Çikis	31,93	46,05	1,694	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 3 Çikis	51,95	6,69	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 3 Kavrama 3 Çikis	30,90	47,44	1,696	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 5 Çikis	51,66	16,74	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 5 Kavrama 5 Çikis	34,56	17,88	1,690	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil Çikis	51,99	37,79	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil Geri Çikis	51,83	9,07	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil Geri Kavrama Geri Çikis	37,21	57,22	1,687	Ho Kabul Edilir.
Avara Çikis	26,92	-0,30	1,703	Ho Kabul Edilir.
Çikis Flansi Çikis	35,85	-4,22	1,688	Ho Reddedilir.
Giris Mili Çikis	50,47	17,01	1,676	Ho Kabul Edilir.
Giris Mili Kavrama 4 Çikis	34,13	3,12	1,691	Ho Kabul Edilir.
Giriş Mili Tutucusu Çikis	48,00	0,79	1,677	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili 3 Çikis	26,00	1,00	1,706	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili 4 Çikis	48,31	-0,85	1,677	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili 5 Çikis	43,05	-0,70	1,681	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili Çikis	38,09	-2,38	1,686	Ho Reddedilir.
Grup Mili GM 3 GM 4 GM 5 Çikis	26,00	25,97	1,706	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 1 Çikis	51,95	-0,66	1,675	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 2 Çikis	46,46	2,68	1,679	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 3 Çikis	50,42	0,46	1,676	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 4 Çikis	50,49	1,86	1,676	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 5 Çikis	45,86	-1,33	1,679	Ho Kabul Edilir.
Kavrama Geri Çikis	51,58	0,45	1,675	Ho Kabul Edilir.
Senkromec Bileziği Çikis	34,64	1,50	1,690	Ho Kabul Edilir.
Senkromec Bileziği ve Gobekler Çikis	49,61	-1,41	1,676	Ho Kabul Edilir.
Senkromec Gobegi B Çikis	26,00	-1,00	1,706	Ho Kabul Edilir.
Senkromec Gobegi K Çikis	46,33	-0,57	1,679	Ho Kabul Edilir.

Tablo 31 incelendiğinde bazı parçalar için $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde ve hesaplanan serbestlik derecesinde, H_0 hipotezinin reddedildiğini yani hesaplanan t istatistiklerinin belirlenen kritik (tablo) değerden küçük olduğu, bazı parçalar içinse H_0 hipotezinin kabul edildiği yani hesaplanan t istatistiklerinin belirlenen kritik (tablo) değerden büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre mevcut üretim sisteminde $\alpha=0,05$ anlamlılık (%95 güven) düzeyinde bazı parçaların üretim miktarlarının önerilecek hücresel üretim sistemine göre küçük olduğu istatistiksel olarak söylenebilir.

- Sistemlerin, parçaların üretim süresi performans göstergesi bakımından karşılaştırılması.

Bu karşılaştırmada, her iki sistemle üretilen parçaların üretim süresi performansı arasında farklılık yoktur $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ istatistiksel hipotezi, mevcut üretim sisteminde parçaların üretim süresi performansı önerilecek hücresel üretim sisteminden daha büyüktür $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ araştırma hipotezine karşı test edilmektedir. Anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak belirlenmiştir. Parça türleri itibariyle ikinci bölüm Tablo 12’de yer alan eşitlikler yardımıyla hesaplanan t istatistikleri ve serbestlik dereceleri Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Ortalama Üretim Süresi İçin t Testi Sonuçları				
Parça Adı	Serbestlik Derecesi	Hesaplanan t değeri	Kritik Değer	Karar
Ana Mil	51	1,45	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 1	43	23,08	1,681	Ho Reddedilir.
Ana Mil 1 Kavrama 1	52	-0,06	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 2	47	-0,82	1,678	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 2 Kavrama 2	28	-9,03	1,701	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 3	52	0,01	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 3 Kavrama 3	28	-9,33	1,701	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil 5	30	60,85	1,697	Ho Reddedilir.
Ana Mil 5 Kavrama 5	52	1,02	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil Geri	52	1,18	1,675	Ho Kabul Edilir.
Ana Mil Geri Kavrama Geri	31	-10,67	1,696	Ho Kabul Edilir.
Avara	51	-1,45	1,675	Ho Kabul Edilir.
Cikis Flansi	38	-137,84	1,686	Ho Kabul Edilir.
Giris Mili	51	-0,57	1,675	Ho Kabul Edilir.
Giris Mili Kavrama 4	26	-4,39	1,706	Ho Kabul Edilir.
Giris Mili Tutucusu	32	2,97	1,694	Ho Reddedilir.
Grup Mili	26	87,09	1,706	Ho Reddedilir.
Grup Mili 3	50	0,11	1,676	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili 4	52	1,11	1,675	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili 5	52	-0,49	1,675	Ho Kabul Edilir.
Grup Mili GM 3 GM 4 GM 5	28	-12,85	1,701	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 1	45	-1,24	1,679	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 2	52	-0,50	1,675	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 3	52	0,32	1,675	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 4	45	-0,08	1,679	Ho Kabul Edilir.
Kavrama 5	47	0,18	1,678	Ho Kabul Edilir.
Kavrama Geri	50	0,07	1,676	Ho Kabul Edilir.
Senkromec Bilezigi	41	138,86	1,683	Ho Reddedilir.
Senkromec Bilezigi ve Gobekleri	38	7165,03	1,686	Ho Reddedilir.
Senkromec Gobegi B	45	119,50	1,679	Ho Reddedilir.
Senkromec Gobegi K	41	71,70	1,683	Ho Reddedilir.

Tablo 32 incelendiğinde bazı parçalar için $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde ve hesaplanan serbestlik derecesinde, H_0 hipotezinin reddedildiğini yani hesaplanan t istatistiklerinin belirlenen kritik (tablo) değerden büyük olduğu, bazı parçalar içinse H_0 hipotezinin kabul edildiği yani hesaplanan t istatistiklerinin belirlenen kritik (tablo) değerden küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre mevcut üretim sisteminde $\alpha=0,05$ anlamlılık (%95 güven) düzeyinde bazı parçaların üretim sürelerinin önerilecek hücresel üretim sistemine göre büyük olduğu istatistiksel olarak söylenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

“Tasarlanan Hücresel Üretim Sisteminin Mevcut Üretim Sistemi ile Karşılaştırılması: Ford Otosan Fabrikası Şanzuman Bölümü İçin Bir Uygulama” isimli bu çalışmada şanzuman parçaları üretimi yapan ve süreç yerleşimine sahip bir işletmede, tavlama benzetimi yöntemiyle hücresel üretim sistemi kurulmuş ve işletmenin hücresel üretim sisteminin avantajlarına sahip olup olamayacağı her iki sistemin de benzetim modellerinin oluşturularak Arena 9.0 yazılımında çalıştırılması ve elde edilen verilerin analiz edilerek karşılaştırılması yoluyla belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmamıza öncelikle Şanzuman bölümünde üretilen parçalara ve bu bölümde yer alan makinelere ait bilgilerin toplanmasıyla başlanmıştır. İlk olarak parçaların üretim akış bilgileri çıkarılmıştır. Bu bilgiler ışığında parça makine matrisi oluşturulmuştur. Hücre oluşturma yöntemlerinden tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır. Tavlama benzetimi algoritmasının adımları C-Sharp programlama dili ile kodlanmıştır ve geliştirilen program vasıtasıyla hücreler, hücrelerde yer alan makine grupları ile üretilcek parça aileleri belirlenmiştir. Son olarak oluşturulan hücresel üretim sistemi ile mevcut üretim sisteminin karşılaştırılması amacıyla iki üretim sisteminin benzetim modelleri kurulmuştur. Bu modeller Arena 9.0 benzetim programında çalıştırılmıştır.

Benzetim modellerinin çıktıları olan verilerin kullanılmasıyla yapılan analiz sonuçları incelendiğinde önerilecek olan hücresel üretim sistemi ile daha düşük bir transfer süresi elde edildiği görülmüştür. Ancak önerilecek hücresel üretim sisteminde bazı makinelerde parça başına ortalama bekleme süresi ve parçaların üretim süresi artmış ve buna bağlı olarak parçaların üretim miktarı azalmıştır. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Öncelikle hücresel üretim sisteminde parçaların izleyecekleri üretim rota planı sayısı azalmıştır. Örneğin mevcut üretim sisteminde bir parçanın bir işlemi için gidebileceği üç makine olması halinde, parça bu makinelerden

uygun olan herhangi birisinde işlem görebilmekteydi. Önerilecek hücresel üretim sisteminde ise parça sadece atanmış olduğu hücredeki makinede işlem görebilmektedir. Yani hücreler arasında taşınma olmadığından parça kendi hücreesindeki makinede işlem görmek için beklemek zorunda kalmaktadır ki bu da bazı makinelerdeki parça başına ortalama bekleme süresinin daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

- Bir başka neden ise transfer süresinin kısalması ile parçaların çok kısa sürede işlem görecekları makinelere gelmesi ve burada beklemek durumunda kalmasıdır.

Yukarıda nedenleri ifade edilen olumsuzlukların giderilmesi için önerimiz beklemenin yüksek olduğu hücrelerde parçaların bekleme süresini azaltmak için hücreye ek makine satın alınmasıdır. Bir diğer önerimiz ise, hücresel üretim sisteminde esneklik özelliğine sahip hücreler oluşturularak başka bir deyişle hücrelerde yer alan makinelerin birbirlerine otomatik malzeme taşıma sistemi ile bağlanması yoluyla parçalar için üretim süresinin düşürülmesidir. Böylelikle taşıma ile ilgili problemler en aza indirilerek sürat ve verimlilik artırılabilir. Bu sayede de daha fazla üretim yapılması mümkün olacaktır.

Oluşturulan hücresel üretim sisteminde, hücrelerde yer alan makineler arasında otomatik malzeme taşıma sisteminin kurulması ya da bazı hücrelere ek makine alınması yönünde yaptığımız önerilerin uygulanması durumunda elde edilecek sonuçların neler olacağı, gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada oluşturulan benzetim modellerinde yapılacak değişikliklerle araştırılabilir. Bunun yanı sıra, çalışmamızda mevcut ve önerilecek olan hücresel üretim sistemi için kurulan benzetim modelleri aynı talep düzeyinde çalıştırılmıştır. İleriki çalışmalarda önerdiğimiz değişiklikler doğrultusunda elde edilen sistem tasarımları üzerinde farklı talep düzeylerinin etkileri de yine kurulan benzetim modelleri ile incelenebilir ve sistem tasarımları karşılaştırılabilir. İşletmelerin ilk kuruluşunda hücresel üretim sistemini tasarlamaları da mümkündür. Bu durumda oluşacak maliyet, mevcut bir üretim sisteminin hücresel üretim sistemine geçişinde oluşacak olan maliyetten daha düşük olacaktır.

EKLER

EK 1.A.: Şanzuman Ünitesi 1996 – 2005 Yılları Aylık Üretim Miktarı Verileri	103
EK 1.B.: Makinelerin Arızalar Arası ve Arıza Giderme Süreleri	104
EK 1.C.: Mevcut Üretim Sistemi'nde EM Numaralarına Göre Makineler Arasındaki Uzaklıklar	105
EK 1.D.: Parçaların İşlem Sıraları ve Süreleri	106
EK 2.: Parça Makine Matrisi	121
EK 3.: Önerilecek Hücresel Üretim Sistemi'nde EM Numaralarına Göre Makineler Arasındaki Uzaklıklar	123

EK 1. A. Şanzuman Ünitesi 1996 – 2005 Yılları Aylık Üretim Miktarı Verileri

Yıllar	Aylar											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1996	1.083	881	1.221	1.501	1.658	1.277	1.155	558	1.260	903	1.021	950
1997	1.563	1.272	1.762	2.167	2.393	1.844	1.667	806	1.818	1.304	1.474	1.371
1998	1.773	1.443	1.999	2.458	2.715	2.091	1.891	914	2.063	1.479	1.672	1.555
1999	2.001	1.628	2.256	2.774	3.064	2.360	2.134	1.032	2.328	1.669	1.887	1.755
2000	2.715	2.209	3.060	3.763	4.157	3.202	2.895	1.400	3.158	2.264	2.560	2.381
2001	1.407	1.145	1.586	1.951	2.155	1.660	1.501	726	1.637	1.174	1.327	1.234
2002	1.099	894	1.239	1.523	1.683	1.296	1.172	567	1.278	917	1.036	964
2003	2.028	1.650	2.285	2.810	3.104	2.391	2.162	1.045	2.358	1.691	1.912	1.778
2004	2.832	2.304	3.192	3.925	4.336	3.340	3.020	1.460	3.294	2.362	2.670	2.484
2005	2.895	2.355	3.263	4.012	4.432	3.414	3.087	1.492	3.367	2.414	2.729	2.539

EK 1. B. Makinelerin Arızalar Arası ve Arıza Giderme Süreleri

Tablo 21. Arızalararası ve Arıza Giderme Süreleri

Makine EM Numarası	Arızalar Arası Süre (saat)	Arıza Giderme Süresi (dakika)	Makine EM Numarası	Arızalar Arası Süre (saat)	Arıza Giderme Süresi (dakika)
93	3.839,0	150	4506	1.621,1	212
94	4.694,4	59	4510	1.195,0	698
95	10.563,9	117	5021	1.204,6	123
533	3.243,6	403	5025	1.562,9	96
545	3.245,2	305	5503	1.353,6	529
559	3.248,9	88	5505	516,5	257
560	2.339,5	463	5506	625,3	276
2506	5.279,9	151	5507	607,8	226
2507	1.895,5	1487	5510	1.080,9	110
2508	4.222,9	167	5511	511,7	163
2509	5.279,4	178	5512	977,6	262
2510	14.086,8	75	5513	776,5	315
2511	1.451,2	316	5517	10.561,8	240
2513	7.036,2	443	6031	21.129,6	180
2515	3.495,9	1522	6034	3.515,9	323
2517	2.814,8	120	7008	1.506,7	113
2518	2.478,7	397	7009	935,8	147
2527	2.220,4	194	7010	1.622,9	104
2533	3.016,0	127	7508	7.038,4	309
2534	1.453,7	169	7509	21.124,0	515
2535	955,1	269	7510	4.221,2	273
2541	2.106,3	362	7601	2.636,4	256
4059	10.563,6	133	7602	1.313,5	379
4060	7.041,6	116	7603	875,8	227
4062	1.359,1	200	8071	21.132,1	30
4064	21.132,1	30	8073	3.519,0	138
4501	3.516,0	319	8501	1.826,4	621
4502	2.007,8	238	8502	572,5	330
4503	4.688,0	441			

EK 1. C. Mevcut Üretim Sistemi'nde EM Numaralarına Göre Makineler Arasındaki Uzaklıklar

[illegible]

EK 1. D. Parçaların İşlem Sıraları ve Süreleri

Parça Adı: ANA MİL

Bölümü	İşlem Gördüğü Makine Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre (sn)
Torna	DUAP PUNTA TEZGAHI	93		10		125
Torna	HITACHI SEİKİ HT23RIII CNC TORNA	2541		13		526
Azdırma	ROTO FLO MICHIGAN OVALAMA TEZGAHI	6034		40/50/60/70		260
Azdırma	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		80		22
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat
Taşılama	MAE PRES DOĞRULTMA TEZGAHI	6031		120		143,6
Taşılama	TACCELLA TAŞLAMA TEZGAHI	5511	5507, 5512	130/140	552,82-559,3	559,3
Taşılama	SCHAUDT PF44 TAŞLAMA TEZGAHI	5505	5507	150	474,29	428,44
Torna	MAZAK SQT 200 CNC TORNA	2534		155		101
Taşılama	SUPHİNA SUPERFİNİŞ TAŞLAMA TEZGAHI	7509		160		42,16
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		165		22
Taşılama	İTERFLUX ÇATLAK KONTROL TEZGAHI	8071		170		18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		175		22

Parça Adı: ANA MİL 1

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20 CNC TORNA	2535	2511	10/20	142	142
Azdırma	PFAUTER P150C AZDIRMA TEZGAHI	4501	4502	30	154	154
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		40		13
Azdırma	WERA	5525	8502	50	44	31
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	PFAUTER RASPA	4503	7510	70	200	121
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		80		22
Kavrama 1 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS (Hidrolik Pres)	6033		85		29
Taşılama	LAZER (Rafin - Sinar Lazer Kaynak Tezgahı)	8501		90		25,57
Taşılama	İTERFLUX	8071		95		18
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama, Parça yıkama)					(13-24) saat
Taşılama	REINECKER	5510	5513, 5517	125	185,86-185,86	185,86
Taşılama	RZR	7601	7602	130	131,01	131,08
Taşılama	NAGEL	7603	7508	170	48,6	48,6
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22
Taşılama	İTERFLUX	8071		200		18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		210		22

Parça Adı: ANA MİL 2

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2535	2511	10/20	131	131
Azdırma	PFAUTER P150C	4501	4502	30	137	137
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		40		13
Azdırma	WERA	5525	8502	50	44	31
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	PFAUTER RASPALAMA	4503	7510	70	200	121
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		80		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Kondursal uygulama, Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kuşlama, Parça yıkama)					(13-24) saat
Taşılama	REINECKER	5510	5513, 5517	125	177,81-177,81	177,81
Taşılama	RZR	7601	7602	130	111,01	111,01
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		140		22
Kavrama 2 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6033		150		54
Taşılama	LAZER	8501		160		25,57
Taşılama	İTERFLUX	8071		165		18
Taşılama	NAGEL	7603	7508	170	48,6	48,6
Taşılama	FORTUNA 2	5025	5021	180	95,04	95,04
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22
Taşılama	İTERFLUX	8071		200		18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22

Parça Adı: ANA MİL 3

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2535	2511	10/20	124	124
Azdırma	PFAUTER P150C	4501	4502	30	118	118
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		40		13
Azdırma	WERA	5525	8502	50	44	31
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	PFAUTER RASPALAMA	4503	7510	70	200	121
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		80		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Kondursal uygulama, Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama, Parça yıkama)					(13-24) saat
Taşılama	REINECKER	5510	5513, 5517	125	177,81-181,81	181,81
Taşılama	RZR	7601	7602	130	111,01	111,01
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		140		22
Kavrama 3 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6033		150		54
Taşılama	LAZER	8501		160		25,57
Taşılama	İTERFLUX	8071		165		18
Taşılama	NAGEL	7603	7508	170	48,6	48,6
Taşılama	FORTUNA 2	5025	5021	180	95,04	95,04
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22
Taşılama	İTERFLUX	8071		200		18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22

Parça Adı: ANA MİL 5

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20 CNC TORNA	2511	2535	10/20	125	125
Azdırma	PFAUTER P150C AZDIRMA TEZGAHI	4502	4501	30	118	118
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		40		13
Azdırma	BOSCH ECM	8502	5525	50	31	45
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	PFAUTER RASPA	4503	7510	70	204	122
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		80		22
Kavrama 5 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS (Hidrolik Pres)	6033		85		29
Taşılama	LAZER (Rafin - Sinar Lazer Kaynak Tezgahı)	8501		90		25,57
Taşılama	İTERFLUX	8071		95		18
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama, Parça yıkama)					(13-24) saat
Taşılama	REINECKER	5510	5513, 5517	125	190,66-190,66	190,66
Taşılama	RZR	7601	7602	130	131,08	131,08
Taşılama	NAGEL	7603	7508	170	48,6	48,6
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22
Taşılama	İTERFLUX	8071		200		18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		210		22
Taşılama	İTERFLUX	8071				10

Parça Adı: ANA MİL GERİ

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2535	2511	10/20	136	136
Azdırma	PFAUTER P150C	4501	4502	30	148	148
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		40		13
Azdırma	WERA	5525	8502	50	44	31
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	PFAUTER RASPALAMA	4503	7510	70	200	121
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		80		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Kondursal uygulama, Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama, Parça yıkama)					(13-24) saat
Taşılama	REINECKER	5510	5513, 5517	125	181,81-180,81	180,81
Taşılama	RZR	7601	7602	130	111,01	111,01
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		140		22
Kavrama Geri Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6033		150		54
Taşılama	LAZER	8501		160		25,57
Taşılama	İTERFLUX	8071		165		18
Taşılama	NAGEL	7603	7508	170	48,6	48,6
Taşılama	FORTUNA 1	5021	5025	180	92,64	92,64
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22
Taşılama	İTERFLUX	8071		200		18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		190		22

Parça Adı: AVARA

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2511		10/20		108
Azdırma	PFAUTER P150C	4502		30		91
Azdırma	WERA	5525		50		31
Azdırma	PFAUTER RASPA	4503	7510	70	204	122
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		80		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama, Parça yıkama)					(13-24) saat
Torna	MORI SEIKI	2517		120 A		168
Torna	MORI SEIKI	2517		120 B		54
Taşılama	NAGEL	7603	7508	160	48,6	48,6
Taşılama	İTERFLUX	8071		220		10

Parça Adı: ÇIKIŞ FLANŞI

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MORI SEIKI	2509		10		275
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Keçe çapını indüksiyonla sertleştirme)					(13-24) saat
Azdırma	HOFFMAN	7008		30		59
Torna	MORI SEIKI	2513		50		188
Torna	MORISEIKI	2513		55		98
Azdırma	MAKİNO MAX	545		60		306

Parça Adı: GİRİŞ MİLİ

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	DUAP PUNTA	93		10		117
Torna	MAZAK SQT 200	2534		20		250
Torna	HITACHI 25/S	2506		40		303
Azdırma	PFAUTER P200	4506	4501, 4502	50	120-120	120
Azdırma	HURTH AEZ	4060		60		33
Azdırma	ROTO FLO MICHIGAN OVALAMA TEZGAH	6034		70		65
Azdırma	FİK.ERD. MATKAP	95		80		53
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		90		62,4
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Kondursal kaplama, Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat
Taşılama	MAE PRES	6031		130		143,6
Taşılama	TACCELLA	5511	5512	140	100,55	100,55
Taşılama	REINECKER	5510	5517, 5513	150	82,74-185,86	82,74
Taşılama	RZP	5506		160		126,792
Taşılama	RZR	7602	7601	170	150,508	105,508
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073		180		22
Kavrama 4 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6033		190		54
Taşılama	LAZER	8501		200		25,57
Taşılama	REINECKER	5510	5513, 5517	210	155-155	155
Taşılama	SAKASAN YIKAMA	8072				62,4
Taşılama	INTERFLUX	8071		220		18
Taşılama	SAKASAN YIKAMA	8072				62,4

Parça Adı: GİRİŞ MİLİ TUTUCUSU

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MORI SEIKI CNC TORNA	2517		10		154

Parça Adı: GRUP MİLİ 3

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2511	2535, 2527	10/20	121-121	121
Azdırma	PFAUTER P150C	4502		30		123
Azdırma	HURTH ZEA	4059		40		34
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kuşlama)					(13-24) saat
Taşılama	NAGEL	7603	7508	90	48,6	48,6
Taşılama	SAKASAN YIKAMA	8072		100		13

Parça Adı: GRUP MİLİ 4

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2511	2535	10/20	126	126
Azdırma	PFAUTER P150C	4502	4501	30	128	128
Azdırma	HURTH ZEA	4059		40		34
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat
Taşılama	NAGEL	7603	7508	90	48,6	48,6
Taşılama	SAKASAN YIKAMA	8072		100		13

Parça Adı: GRUP MİLİ 5

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2511	2527	10/20	123	123
Azdırma	PFAUTER P150C	4502	4501	30	128	128
Azdırma	HURTH ZEA	4059		40		34
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat
Taşılama	NAGEL	7603	7508	90	48,6	48,6
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		100		13

Parça Adı: GRUP MİLİ

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	DUAP PUNTA	93		10		125
Torna	MAZAK SQT 200	560		35		404
Azdırma	PFAUTER P200	4506		40		196
Azdırma	PFAUTER P200	4506		50		118
Azdırma	HURTH AEZ	4060		60		23
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		70		62,4
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Parça yükleme, Karbürasyon, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat
Taşılama	MAE PRES	6031		100		143,6
Taşılama	TACCELLA	5511	5507, 5512	110	240,34-240,34	240,34
Taşılama	RZP	5506		30		115,792
Azdırma	PFAUTER P200	4506		130		124
Taşılama	RZR	7601	7602	160	229,11	229,11
Grup Mili 3 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6043		10		90
Taşılama	RZP	5506		30		105,792
Taşılama	RZR	7601	7602	40	97,51	97,51
Grup Mili 4 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6043		50		45
Grup Mili 5 Parçasının Gelmesi						
Taşılama	PRESS	6043		70		93
Taşılama	RZP	5506		80		115,79
Taşılama	RZR	7601	7602	90	103,228	103,228
Taşılama	RZP	5506		100		115,79
Taşılama	RZR	7601	7602	110	103,23	103,23
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073				22
Taşılama	İTERFLUX	8071				18
Taşılama	OTOSAN YIKAMA MAKİNESİ	8073				22

Parça Adı: KAVRAMA 1

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	200	200
Azdırma	WERA	4510		25		85

Parça Adı: KAVRAMA 2

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	209	209
Azdırma	WERA	4510		25		85
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kuımlama)					(13-24) saat
Torna	HITACHI 23 R III	559	2509, 2513	90	205-205	187

Parça Adı: KAVRAMA 3

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	205	205
Azdırma	WERA	4510		25		66
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kuşlama)					(13-24) saat
Torna	HITACHI 23 R III	559	2509, 2513	90	194-194	194

Parça Adı: KAVRAMA 4

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	225	225
Azdırma	WERA	4510		25		85
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kuşlama)					(13-24) saat
Torna	HITACHI 23 R III	559	2509, 2513	90	194-194	194

Parça Adı: KAVRAMA 5

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	225	225
Azdırma	WERA	4510		25		81

Parça Adı: KAVRAMA GERİ

Bölüm	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK QT 20	2507	2508	10	209	209
Azdırma	WERA	4510		25		66
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		50		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kuşlama)					(13-24) saat
Torna	HITACHI 23 R III	559	2509, 2513	90	205-205	187

Parça Adı: Senkromeç Bileziği

Bölüm	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	HITACHI 20 S CNC TORNA	2518	2533, 2534	10	219-219	110
Azdırma	HOFFMAN	7009		20		62
Torna	MAZAK SQT 200	2533	2506	30	195	197
Azdırma	TAKSAN	533	545	60	108	108
Azdırma	HURTH	4062	4064	40/50	224	224
Azdırma	HOFFMAN	7009		80		62
Azdırma	BOSCH ECM	8502		90		71
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kuşlama)					(13-24) saat
Torna	MORI SEIKI	2510	2506	140	130	130
2 Büyük ve 1 Küçük Senkromeç Göbeği ile taşlanarak eşleme yapılır						
Torna	SCHAUDT T3	5503	5517	150	68	68

Parça Adı: Senkromeç Göbeği K

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2527	2509, 2508, 2511, 2533, 2534	10	106-213(2511)	106
Azdırma	HOFFMAN	7008		20		69
Torna	MAZAK DT 20	2527	2509	30	107	107
Azdırma	FORST BROŞ	7010		40		65
Azdırma	FİK.ERD. MATKAP	94		50		40
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	BOSCH ECM	8502		70		71
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		80		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat

Parça Adı: Senkromeç GöbeğiB

Bölümü	İşlem Gördüğü Tezgah Adı	Makine EM No	Alternatif Makineler	OP No	Alternatif Makinelerdeki İşlem Süresi	Toplam Süre
Torna	MAZAK DT 20	2527	2509, 2508, 2511, 2533, 2534	10	105-213(2511)	105
Azdırma	HOFFMAN	7008		20		69
Torna	MAZAK DT 20	2527	2509	30	106	106
Azdırma	FORST BROŞ	7010		40		65
Azdırma	FİK.ERD. MATKAP	94		50		40
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		60		13
Azdırma	BOSCH ECM	8502		70		71
Azdırma	SAKASAN YIKAMA	8072		80		13
Isıl İşlem	ISIL İŞLEM TESİSİ (Karbürasyon, sertleştirme, yıkama, temperleme, Kumlama)					(13-24) saat

EK 2. Parça – Makine Matrisi

Parça Adı (Üretim Rotası)	Makineler																																							
	93	94	95	533	545	560	2506	2518	4059	4060	4503	4510	5503	5505	5506	5525	6031	6033	6034	6043	7010	7508	7509	7510	7603	8501	8502	Fortuna 2	Hitachi 23 R III	Hoffman Bros	Hurth	Mazak DT	Mazak QT	Mori Seiki	Plauter	Reinecker	RZR	Taccella		
Ana Mil (R1)	1													1			1		1				1						1				1						1	
Ana Mil (R2)	1																1		1				1						1				1						1	
Ana Mil 1 (R1)											1					1		1							1	1						1				1	1		1	
Ana Mil 1 (R2)											1					1		1				1				1						1				1	1		1	
Ana Mil 1 (R3)																1		1						1	1	1						1				1	1		1	
Ana Mil 1 (R4)																1		1				1		1		1					1				1	1		1		
Ana Mil 1 (R5)											1							1							1	1	1					1				1	1		1	
Ana Mil 1 (R6)											1							1				1			1	1	1					1				1	1		1	
Ana Mil 1 (R7)																		1						1	1	1	1					1				1	1		1	
Ana Mil 1 (R8)																		1				1		1		1	1					1				1	1		1	
Ana Mil 2 (R1)											1						1		1						1	1		1					1				1	1		1
Ana Mil 2 (R2)											1						1		1			1				1			1				1				1	1		1
Ana Mil 2 (R3)																	1		1					1	1	1		1				1				1	1		1	
Ana Mil 2 (R4)																	1		1			1		1		1		1				1				1	1		1	
Ana Mil 2 (R5)											1							1							1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil 2 (R6)											1							1				1			1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil 2 (R7)																		1					1	1	1	1	1					1				1	1		1	
Ana Mil 2 (R8)																		1				1		1	1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil 3 (R1)											1					1		1							1	1	1	1	1				1				1	1		1
Ana Mil 3 (R2)											1					1		1				1				1			1				1				1	1		1
Ana Mil 3 (R3)																1		1						1	1	1		1				1				1	1		1	
Ana Mil 3 (R4)																1		1				1		1		1	1	1	1			1				1	1		1	
Ana Mil 3 (R5)											1							1							1	1	1	1	1			1				1	1		1	
Ana Mil 3 (R6)											1							1				1				1	1	1	1			1				1	1		1	
Ana Mil 3 (R7)																		1						1	1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil 3 (R8)																		1				1		1		1	1	1	1			1				1	1		1	
Ana Mil 5 (R1)											1							1							1	1	1						1				1	1		1
Ana Mil 5 (R2)																1		1							1	1							1				1	1		1
Ana Mil 5 (R3)											1							1				1				1						1				1	1		1	
Ana Mil 5 (R4)																		1					1	1	1							1				1	1		1	
Ana Mil 5 (R5)																	1	1				1		1		1						1				1	1		1	
Ana Mil 5 (R6)											1							1				1			1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil 5 (R7)																		1					1	1	1	1	1					1				1	1		1	
Ana Mil 5 (R8)																		1				1		1	1	1	1					1				1	1		1	
Ana Mil Geri (R1)											1					1		1							1	1		1				1				1	1		1	
Ana Mil Geri (R2)											1					1		1				1				1			1				1				1	1		1
Ana Mil Geri (R3)																1		1						1	1	1			1				1				1	1		1
Ana Mil Geri (R4)																1		1				1		1		1		1				1				1	1		1	
Ana Mil Geri (R5)											1							1				1			1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil Geri (R6)											1							1				1			1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil Geri (R7)																		1						1	1	1	1	1				1				1	1		1	
Ana Mil Geri (R8)																		1				1		1		1	1	1	1			1				1	1		1	
Avara (R1)											1						1								1								1				1	1		
Avara (R2)											1											1											1				1	1		
Avara (R3)																						1		1									1				1	1		
Avara (R4)																	1																1				1	1		
Çıkış Flanşı					1																										1					1				
Giriş Mili	1		1				1			1					1			1	1	1						1					1				1		1	1		1
Giriş Mili Tutucusu																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				
																																				1				

EK 2. Parça – Makine Matrisi (Devam)

Parça Adı (Uretim Rotası)	Makineler																																						
	93	94	95	533	545	560	2506	2518	4059	4060	4503	4510	5503	5505	5506	5525	6031	6033	6034	6043	7010	7508	7509	7510	7603	8501	8502	Fortuna 2	Hitachi 23 R III	Hoffman Bros	Hurth	Mazak DT	Mazak QT	Mori Seiki	Pfauter	Reinecker	RZR	Taccella	
Grup Mili	1				1				1						1		1			1																1		1	1
Grup Mili 3 (R1)									1																1								1			1			
Grup Mili 3 (R2)									1													1											1			1			
Grup Mili 4 (R1)									1																1								1			1			
Grup Mili 4 (R2)									1													1											1			1			
Grup Mili 5 (R1)									1																1								1			1			
Grup Mili 5 (R2)									1													1			1								1			1			
Kavrama 1												1																						1					
Kavrama 2 (R1)												1																						1					
Kavrama 2 (R2)												1																						1			1		
Kavrama 3 (R1)												1																						1					
Kavrama 3 (R2)												1																						1			1		
Kavrama 4 R(1)												1																						1			1		
Kavrama 4 R(2)												1																						1			1		
Kavrama 5												1													1										1				
Kavrama Geri (R1)												1																						1					
Kavrama Geri (R2)												1																						1					
SB (R1)				1					1					1														1				1		1		1			
SB (R2)				1					1																		1					1		1					
SB (R3)				1					1					1													1					1		1					
SB (R4)				1					1																		1					1		1					
SB (R5)					1								1														1					1		1		1			
SB (R6)					1				1																		1					1		1		1			
SB (R7)					1				1				1														1					1		1					
SB (R8)					1				1																		1					1		1					
SB (R9)				1					1				1														1					1		1					
SB (R10)				1					1																		1					1		1					
SB (R11)				1					1				1														1					1		1					
SB (R12)									1																		1					1		1					
SB (R13)					1				1				1														1					1		1					
SB (R14)					1				1																		1					1		1					
SB (R15)					1				1				1														1					1		1					
SB (R16)					1				1																		1					1		1					
SB (R17)				1									1														1					1		1					
SB (R18)				1																							1					1		1					
SB (R19)									1				1														1					1		1					
SB (R20)				1					1																		1					1		1					
SB (R21)					1								1														1					1		1					
SB (R22)					1																						1					1		1					
SB (R23)													1														1					1		1					
SB (R24)					1																						1					1		1					
SB (R25)				1									1														1					1		1					
SB (R26)					1																						1					1		1					
SB (R27)				1									1														1					1		1					
SB (R28)																											1					1		1					
SB (R29)					1								1														1					1		1					
SB (R30)					1																						1					1		1					
SB (R31)					1								1														1					1		1					
SB (R32)					1																						1					1		1					
SGB (R1)		1																				1					1					1							
SGB (R2)		1																				1					1					1							
SGB (R3)		1																				1					1					1							
SGB (R4)		1																				1					1					1							
SGB (R5)		1																				1					1					1							
SGK (R1)		1																				1					1					1							
SGK (R2)		1																				1					1					1							
SGK (R3)		1																				1					1					1							
SGK (R4)		1																				1					1					1							
SGK (R5)		1																				1					1					1							

EK 3. Önerilecek Hücresel Üretim Sistemi'nde EM Numaralarına Göre Makineler Arasındaki Uzaklıklar

[illegible]

KAYNAKÇA

- Abduelmola, Abduelghani I. "Modeling of Cellular Manufacturing Systems With Productivity Consideration: A Simulated Annealing Algorithm." Yayınlanmamış Doktora Tezi, University of Windsor, 2000.
- Adil, G. K., D. Rajamani ve D. Strong. "Cell Formation Considering Alternate Routeings", **International Journal of Production Research**: Cilt No: 34, Sayı No: 5, 1361–1380, 1996.
- Adil, G. K., D. Rajamani ve D. Strong. "Assignment Allocation and Simulated Annealing Algorithms For Cell Formation", **IIE Transactions**: Cilt No: 29, 53–67, 1997.
- Askin, Ronald G. ve Charles R. Standridge, **Modeling and Analysis of Manufacturing Systems**. United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 1993.
- Banks, Jerry ve John S. Carson, II, **Discrete – Event System Simulation**. New Jersey: Prentice - Hall, Inc., 1984.
- Banks, Jerry, John S. Carson, II, Barry L. Nelson ve David M. Nicol. **Discrete – Event System Simulation**. New Jersey: Prentice - Hall, Inc., 2001.
- Chen, C. L., N. A. Cotruvo ve W. Baek. "A Simulated Annealing Solution to The Cell Formation Problem", **International Journal of Production Research**: Cilt No: 33, Sayı No: 9, 2601–2614, 1995.
- Coello, Coello ve A. Carlos. **Applications of Multi – Objective Evolutionary Algorithms**. NJ: World Scientific Publishing Company, 2005.

Demir, M. Hulûsi ve Şevkinaz Gümüşoğlu. **Üretim Yönetimi (İşlemler Yönetimi)**. Genişletilmiş 6. Bası. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş., 2003.

Durmuşoğlu, M. Bülent, Osman Kulak ve H. Hakan Balcı. "Türkiye'de Hücreli Üretim Uygulamalarının Analizi ve Değerlendirilmesi", **Endüstri Mühendisliği**: Sayı No 2, 2003.

Gallagher, C. C. ve W. A. Knight. **Group Technology Production Methods in Manufacture**. NY: John Wiley & Sons, 1986.

Glover, Fred. **Handbook of Metaheuristics**. NJ, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Groover, Mikell P. **Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing**. NJ: Prentice – Hall, Inc., 2001.

Hitomi, Katsundo. **Manufacturing Systems Engineering - A Unified Approach to Manufacturing Technology, Production Management and Industrial Economics**. Second Edition. Great Britain: Taylor & Francis Ltd., 1996.

Kobu, Bülent. **Üretim Yönetimi**. Onbirinci Baskı. İstanbul: Avcıol Basım Yayın, 2003.

Johnson, David S. ve diğerleri. "Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part I, Graph Partitioning" **Operations Research**, Cilt no 37, Sayı no 6: 865-892, 1989.

Jones, M. Tim. **AI Application Programming**. USA: Charles River Media, 2003.

Karaboğa, Derviş. **Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları**. Ankara: Atlas – Nobel Yayınları, 2004.

Kelton, W. David, Randall P. Sadowski ve David T. Sturrock. **Simulation With Arena**. USA: McGraw – Hill Companies, Inc., 2004.

Kusiak, Andrew ve M. Cho. “Similarity Coefficient Algorithms For Solving the Group Technology Problem” **International Journal of Production Research**, Cilt No 30, Sayı No 11: 2633-2646, 1992.

Law, Averill M. ve W. David Kelton. **Simulation Modeling and Analysis**. USA: McGraw – Hill, Inc., 1991.

Offodile, O. Felix, Abraham Mehrez ve John Grznar. “Cellular Manufacturing: A Taxonomic Review Framework”, **Journal of Manufacturing**: Cilt No 13, Sayı No 3: 196-220, 1994.

Özkul, Ali Ekrem. **Benzetim Ders Notları**. Eskişehir: Kasım 2001.

Öztürk, Ahmet. **Yöneylem Araştırması**. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları, 1997.

Selim, M. Hassan, Ronald G. Aksin ve Asoo J. Vakharia. “Cell Formation in Group Technology: Review, Evaluation and Directions For Future Research”, **Computers and Industrial Engineering**: Cilt No: 34, Sayı No: 1, 3-20, 1998.

Serdaroğlu Okur, Ayperi. **Yalın Üretim 2000’li Yıllara Doğru Türkiye Sanayi İçin Yapılanma Modeli**. İstanbul: Söz Yayın Oyunajans Ltd., 1997.

Singh, Nanua ve Divakar Rajamani. **Cellular Manufacturing Systems: Desing, Planning and Control**. London: Chapman & Hall, 1996.

Şahin, Mehmet. **Üretim Yönetimi**. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi – İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 2005.

Taha, Hamdy A. **Yöneylem Araştırması**. İngilizceden çeviren: Ş. Alp Baray ve Şakir Esnaf. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2000.

Taylor III, Bernard W. ve Roberta S. Russell. **Operations Management Quality and Competitiveness in a Global Enviroment**. United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 2006.

Top, Aykut. **Üretim Yönetimi**. İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım, 2006.

Van Laarhoven, P. J. M. ve E. H. L. Aarts. **Simulated Annealing: Theory and Applications**. Netherlands: D. Riedel Publishing Company, 1987.

Wemmerlöv, Urban ve Danny J. Johnson. “Cellular Manufacturing at 46 User Plants: Implementation Experiences and Performance Improvements” **International Journal of Production Research**, Cilt No 35, Sayı No 1: 29-49, 1997.

Wemmerlöv, Urban ve Nancy L. Hyer. “Cellular Manufacturing in the U.S. Industry: A Survey of Users” **International Journal of Production Research**, Cilt No 27, Sayı No 9: 1511-1530, 1989.